



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO FINAL DE GRADO
Grado en Ingeniería de la Energía
**PROYECTO Y ESTUDIO DE VIABILIDAD DE UNA
VIVIENDA UNIFAMILIAR BIOCLIMÁTICA EN
IBIZA**



Memoria

Autor: Nieves Torres Escandell
Director: Herminio Martínez García
Convocatoria: Enero 2018

Resumen

El presente trabajo final de grado pretende proyectar un vivienda unifamiliar aislada bajo las pautas de la arquitectura bioclimática y tradicional, juntamente con la cumplimentación de algunos criterios del estándar de construcción Passivhaus alemán. Una vez la vivienda ha sido dimensionada, las repercusiones a nivel ambiental y monetario son analizadas para valorar las mejoras aportadas por una vivienda de estas características.

Dicha acción se realiza mediante el dimensionado de la vivienda en cuestión considerando aspectos tales como la orientación y protección solar del edificio, el aislamiento térmico y la hermeticidad al aire atendiendo a los materiales de construcción utilizados, y la ventilación con recuperación de calor, entre otros. El comportamiento de la vivienda es simulado mediante el software del Passive House Institute.

Se proyectan también, el dimensionado de las instalaciones interiores (ventilación, clima, abastecimiento de agua, saneamiento y electricidad), cumpliendo con la normativa española vigente, y el campo solar necesario para satisfacer sus demandas energéticas. El recurso solar es la fuente de energía utilizada en la casa. Gracias a un conjunto de paneles fotovoltaicos ubicados en la cubierta, esta energía es captada y transformada a través de los elementos que componen dicha instalación.

Resum

El present treball final de grau pretén projectar un habitatge unifamiliar aïllat sota les pautes de l'arquitectura bioclimàtica i tradicional, juntament amb la complementació d'alguns criteris de l'estàndard de construcció Passivhaus alemany. Un vegada l'habitatge s'ha dimensionat, les repercussions a nivell ambiental i monetari son analitzades per valorar les millores aportades per una edificació d'aquestes característiques.

Aquesta acció es realitza mitjançant el dimensionament de l'immoble en qüestió considerant aspectes tals com l'orientació i protecció solar de l'edifici, el aïllament tèrmic i l'hermeticitat a l'aire atenent als materials de construcció utilitzats, y la ventilació amb recuperació de calor d'entre d'altres. El comportament de l'habitatge es simulat mitjançant el software del Passive House Institute.

Es projecten també, el dimensionament de les instal·lacions interiors (ventilació, clima, abastiment d'aigua, sanejament i electricitat), complint amb la normativa espanyola vigent, i el camp solar necessari per a satisfer les demandes energètiques. El recurs solar es la font d'energia utilitzada en la casa. Gràcies a un conjunt de panells fotovoltaics ubicats sobre la coberta, aquesta energia es captada y transformada mitjançant els elements que componen dita instal·lació.

Abstract

The present final project of degree aims to project an isolated single-family house under the guidelines of bioclimatic and traditional architecture, together with the fulfilment of some criteria from the German Passivhaus construction standard. Once the dwelling has been dimensioned, the environmental and monetary repercussions are analysed to assess the improvements contributed by a construction with these characteristics.

Said action is carried out by the dimensioning of the isolated house, considering aspects such as the orientation and solar protection of the building, ventilation with heat recovery and the thermal insulation and airtightness, taking into account the construction materials used, among others. The behaviour of the dwelling is simulated through the Passive House Institute software, and the result is evaluated.

The dimensioning of the interior facilities (ventilation, climate, water supply, purification and electricity) are also projected, fulfilling the current Spanish regulations. The solar resource is the source of energy used in the house to supply its energy demand, so the solar field is also calculated. Thanks to a set of photovoltaic panels located on the roof, the sun's energy is captured and transformed through the elements that integrate this installation.



Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Herminio Martínez la oportunidad que me ha brindado para realizar un trabajo que estaba fuera de las listas de TFGs propuestos por la universidad. Gracias a ello he podido introducirme en el mundo de la edificación sostenible. Dar las gracias también, por el soporte constante que he recibido durante la realización del mismo.

Agradecer también los consejos recibidos por parte de Álvaro Martínez, arquitecto técnico que realizó la vivienda *Can Tanca* (vivienda que he tomado como referencia para realizar el trabajo), que me ayudaron a entender la importancia de este tipo de viviendas y la esencia de estas. “Vivir mejor con menos energía, vivir mejor con más ahorro, vivir mejor con más confort”.

Y por último a mis amigos y familiares por aguantarme durante estos cuatro meses en los que he realizado el trabajo. En especial a mi hermana, por soportarme en los días de histeria, y por sus grandes recomendaciones para el diseño de la vivienda con el AutoCAD.



Índice

RESUMEN	I
RESUM	II
ABSTRACT	III
AGRADECIMIENTOS	V
1. PREFACIO	1
1.1. Origen del trabajo	1
1.2. Motivación	1
2. OBJETIVOS Y ABASTO DEL TRABAJO	3
3. CONTEXTO	4
3.1. Cambio climático	5
3.1.1. Emisiones de gases de efecto invernadero	5
3.1.2. Estrategias contra el cambio climático	7
3.2. Situación actual de la edificación en España en cuanto a eficiencia energética ..	11
3.2.1. Número de viviendas totales y distribución según normativa en materia de eficiencia energética.....	11
3.2.2. Consumos y emisiones de GEI del parque edificatorio de España.	13
3.2.3. Conclusiones sobre la situación actual del parque edificatorio en España en cuanto a eficiencia energética	15
3.3. Introducción a la arquitectura bioclimática	17
3.3.1. Arquitectura bioclimática	17
3.3.2. Objetivos y conceptos de la arquitectura bioclimática	18
3.4. Estándar Passivhaus.....	19
3.4.1. Filosofía.....	19
3.4.2. Medidas pasivas en la arquitectura bioclimática	19
3.4.3. Criterios de la arquitectura Passivhaus.....	21
3.4.4. Certificación Passivhaus	28
4. METODOLOGÍA	31
4.1. Software utilizado	31
5. DESARROLLO DE LA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA	32
5.1. Características del emplazamiento	32
5.1.1. Situación geográfica	32

5.1.2.	Datos climáticos.....	33
5.1.3.	Vegetación	34
5.2.	Diseño de la vivienda según el estándar Passivhaus.....	35
5.2.1.	Descripción arquitectónica de la vivienda	35
5.2.2.	Plano superficies útiles vivienda	37
5.2.3.	Criterios de arquitectura bioclimática o pasiva	39
5.2.4.	Plano alzados	41
5.2.5.	Criterios Passivhaus.....	45
5.2.6.	Plano “regla del rotulador”	49
5.2.7.	Criterios generales de certificación.....	52
5.3.	Materiales de construcción	55
5.3.1.	Plano materiales de construcción.....	57
5.4.	Conclusiones	59
6.	DISEÑO DE INSTALACIONES	60
6.1.	Normativa utilizada.....	60
6.2.	Sistemas de ventilación y climatización de la vivienda según el estándar Passivhaus	60
6.2.1.	Ventilación mecánica	61
6.2.2.	Plano instalación conductos ventilación.....	75
6.2.3.	Sistema de climatización	77
6.2.4.	Plano instalación suelo radiante/refrescante.....	91
6.3.	Suministro de agua	93
6.3.1.	Consumo	93
6.3.2.	Dimensionado de la instalación	95
6.3.3.	Exigencia de eficiencia energética	111
6.3.4.	Equipos utilizados	113
6.3.5.	Plano instalación conductos suministro de agua	119
6.4.	Saneamiento	121
6.4.1.	Descripción de la instalación	121
6.4.2.	Red de evacuación de aguas residuales.....	121
6.4.3.	Plano instalación conductos saneamiento	125
6.5.	Electricidad.....	127
6.5.1.	Características de la instalación	127
6.5.2.	Instalación de conexión a tierra	129
6.5.3.	Cálculo	129
6.5.4.	Plano instalación distribución eléctrica	133

7.	ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO	135
7.1.	Introducción	135
7.2.	Componentes utilizados	135
7.3.	Demanda energética.....	137
7.3.1.	Demanda eléctrica.....	137
7.3.2.	Demanda agua.....	138
7.4.	Dimensionado del sistema de captación para el consumo eléctrico de la vivienda	139
7.4.1.	Sistema de captación.....	139
7.4.2.	Dimensionado cableado.....	147
7.4.3.	Plano conexión instalación fotovoltaica vivienda	151
7.5.	Dimensionado del sistema de captación para el abastecimiento del agua consumida en la vivienda	153
7.5.1.	Sistema de captación.....	153
7.5.2.	Dimensionado cableado.....	156
7.5.3.	Plano conexión instalación fotovoltaica pozo	157
7.6.	Plano emplazamiento campo solar	159
7.7.	Simulación energética PVSYST.....	161
8.	ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL	163
	CONCLUSIONES	167
	PRESUPUESTO	169
	BIBLIOGRAFÍA	185

Índice de Figuras

Figura 3.1 Efecto invernadero. Fuente: http://www.ekoenergy.org . [10]	5
Figura 3.2 Radiación solar incidente. Fuente: http://www.sitiosolar.com . [34]	20
Figura 3.3 Esquema de una casa pasiva contemporánea. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]	22
Figura 3.4 Criterio de aislamiento térmico en Passivhaus. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]	22
Figura 3.5 Criterio de inercia térmica en Passivhaus. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]	23
Figura 3.6 Criterio de puentes térmicos en Passivhaus. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]	24
Figura 3.7 Criterio de prestaciones en puertas y ventanas en Passivhaus. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]	25
Figura 3.8 Criterio de hermeticidad en Passivhaus. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]	26
Figura 3.9 Test Blower-Door. Fuente: : Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]	26
Figura 3.10 Criterio de ventilación controlada con recuperador de calor. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]	27
Figura 3.11 Criterio de ventilación natural cruzada. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [37]	28

Figura 3.12 Criterios generales de certificación Passivhaus. Fuente: http://www.plataforma-pep.org . [24]	28
Figura 3.13 Criterios generales e indirectos de certificación Passivhaus. Fuente: http://www.plataforma-pep.org . [24]	29
Figura 5.1 Ubicación de Sant Miquel de Balansat en el mapa de Ibiza. Fuente: Google Maps [13].	32
Figura 5.2 Parcela en la que se ubica la vivienda. Fuente: Catastro. [32]	33
Figura 5.3 Irradiación global horizontal. Fuente: Solargis. [39]	33
Figura 5.4 Vegetación en parcela. Fuente: Google Maps. [13]	34
Figura 5.5 Materiales muro exterior portante. Fuente: PHPP-Cas Matà; elaboración propia.	46
Figura 5.6 Materiales cubierta. Fuente: PHPP-Cas Matà; elaboración propia.	46
Figura 5.7 Materiales solera. Fuente: PHPP-Cas Matà; elaboración propia.	47
Figura 5.8 Materiales muro divisorio interior. Fuente: PHPP-Cas Matà; elaboración propia.	47
Figura 5.9 Cumplimiento del estándar Passivhaus. Fuente: PHPP-Cas Matà; elaboración propia.	54
Figura 6.1 C en conducto. Fuente: Sistema de distribución del aire. Cálculo de conductos. [33]	67
Figura 6.2 Zehnder ComfoAir 350. Fuente: http://www.zehnder.es . [40]	71
Figura 6.3 Esquema de principio propuesto. Fuente: Manual Técnico para Suelo Radiante de UPONOR. [21]	88
Figura 6.4 Bomba de calor aerotérmica Rotex HPSU Compact. Fuente: http://es.intpre.daikineurope.com/rotex/ [5]	89
Figura 6.5 Placa aislante Nopas 13 Térmica Stark. Fuente: http://www.roth-spain.com . [31]	90
Figura 6.6 Tubo ROTH X-PERT S5 con barrera EVOH. Fuente: http://www.roth-spain.com . [31]	90
Figura 6.7 Colector compacto HKV de Roth. Fuente: http://www.roth-spain.com . [31]	90
Figura 6.8 Bomba hidráulica sumergible. Fuente: http://www.bombasideal.com . [2]	114
Figura 6.9 Sistema de filtrado de agua. Fuente: http://www.grafiberica.com . [14].	115

Figura 6.10 Depósito de acumulación de Graf. Fuente: http://www.grafiberica.com . [15]	115
Figura 6.11 Grupo de presión. Fuente: http://www.ebara.es . [8]	116
Figura 6.12 Tratamiento UV. Fuente: http://www.uvcp-es.com . [16]	117
Figura 6.13 Depósito acumulación aguas residuales tratadas. Fuente: grafiberica.com . [14]	123
Figura 6.14 Sistema de depuración de aguas residuales. Fuente: grafiberica.com . [14]	124
Figura 7.1 Regulador de carga SmartSolar MPPT 250/85. Fuente: https://www.victronenergy.com.es . [37]	147
Figura 7.2 Inversor SUNNY ISLAND 8.0H. Fuente: https://www.sma.de/en.html . [35]	147
Figura 7.3 Regulador de carga BlueSolar MPPT 150/45. Fuente: https://www.victronenergy.com [37].	155
Figura 7.4. Inversor Phoenix 24/375. Fuente: https://www.victronenergy.com [37].	156

Índice de Gráficos

Gráfico 3.1 Evolución de las emisiones de GEI tomando como referencia el primer año de la serie (1990). Fuente: Inventario Nacional de GEI de España 1990-2015. [20]	6
Gráfico 3.2 Distribución anual de las emisiones de GEI por grupo de actividad y detalle para el año 2015. Fuente: Inventario Nacional de GEI de España 1990-2015. [20]	7
Gráfico 3.3 Inventario Nacional de GEI de España 1990-2015. Fuente: Inventario Nacional de GEI de España 1990-2015. [20]	7
Gráfico 3.4 Antigüedad de la vivienda por tipo de vivienda. Fuente: IDAE-Proyecto SECH-SPAHOUSEC. [18]	13
Gráfico 3.5 Estructura de consumo según usos energéticos. Fuente: Proyecto SECH-SPAHOUSEC. [18]	14
Gráfico 3.6 Estructura de consumo según fuentes energéticas. Fuente: Proyecto SECH-SPAHOUSEC. [18]	15
Gráfico 6.1 Balance energético calefacción. Fuente: PHPP- Cas Matà; elaboración propia.	78
Gráfico 6.2 Balance energético refrigeración. Fuente: PHPP- Cas Matà; elaboración propia.	79

Gráfico 6.3 Demanda de calefacción mensual. Fuente: PHPP-Cas Matà; elaboración propia..	80
Gráfico 6.4 Demanda de refrigeración mensual. Fuente: PHPP-vivienda Cas Matà ; elaboración propia..	81
Gráfico 6.5 Cargas de humedad y energía para deshumidificación. Fuente: PHPP-Cas Matà ; elaboración propia.	82
Gráfico 6.6 Temperatura exterior media en °C. Fuente: PHPP- Cas Matà.	83
Gráfico 6.7 COP de la bomba de calor aerotérmico. Fuente: elaboración propia.	112
Gráfico 7.1 Consumo eléctrico de la vivienda para cada mes. Fuente: elaboración propia.	138
Gráfico 7.2 Energía producida y pérdidas de la instalación por mes. Fuente: Informe PVSyst.	161
Gráfico 7.3 Estado de distribución de carga diaria del banco de baterías. Fuente: Informe PVSyst.	162
Gráfico 8.1 Comparativa de emisiones de CO ₂ eq. por energía primaria consumida entre una Passivhaus y una vivienda estándar. Fuente: elaboración propia.	164
Gráfico 0.1 Coste económico vivienda. Fuente: elaboración propia.	169

Índice de Tablas

Tabla 3.1 Emisiones totales brutas de gases de efecto invernadero (kt CO ₂ eq). Fuente: Inventario Nacional de GEI de España 1990-2015. [20]	6
Tabla 3.2 Censos de Viviendas en 2010. Fuente: IDAE-Proyecto SECH-SPAHOUSEC. [18]	11
Tabla 3.3 Consumo energético del sector residencial en España según uso. Fuente: IDAE-Proyecto SECH-SPAHOUSEC.[18]	14
Tabla 5.1 Superficies a acondicionar. Fuente: elaboración propia.	36
Tabla 5.2 Superficies exteriores de la vivienda. Fuente: elaboración propia.	45
Tabla 6.1 Temperatura interior y humedad interior para invierno y verano	60
Tabla 6.2 Propiedades del aire. Fuente: elaboración propia.	61
Tabla 6.3 Resumen ventilación CTE y Passive House Institute. Fuente: elaboración propia.	62
Tabla 6.4 Diámetros calculados e instalados. Fuente: elaboración propia.	64



Tabla 6.5 Valores para el cálculo de las pérdidas de carga por accesorios. Fuente: Sistema de distribución del aire. Cálculo de conductos. [33]	67
Tabla 6.6 Resumen de resultados de las pérdidas de carga lineales. Fuente: elaboración propia.	68
Tabla 6.7 Resumen pérdidas de carga totales. Fuente: elaboración propia.	69
Tabla 6.8 Instalaciones con fluidos calientes que discurren por el interior de edificios. Fuente: RITE.[28]	70
Tabla 6.9 Instalaciones con fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios. Fuente: RITE.[28]	70
Tabla 6.10 Instalaciones con fluidos fríos que discurren por el interior de edificios. Fuente: RITE. [28]	70
Tabla 6.11 Instalaciones con fluidos fríos que discurren por el exterior de edificios. Fuente: RITE. [28]	70
Tabla 6.12 Especificaciones técnicas del ComfoAir 350. Fuente: elaboración propia.	72
Tabla 6.13 Especificaciones técnicas del ComfoDew 350. Fuente: elaboración propia.	73
Tabla 6.14 Demanda de calefacción mensual. Fuente: PHPP-vivienda Cas Matà; elaboración propia.	80
Tabla 6.15 Demanda de refrigeración mensual. Fuente: PHPP-vivienda Cas Matà ; elaboración propia..	81
Tabla 6.16 Cargas de humedad totales. Fuente: PHPP-Cas Matà ; elaboración propia.	81
Tabla 6.17 Carga térmica para calefacción. Fuente: elaboración propia.	82
Tabla 6.18 Carga térmica para refrigeración. Fuente: elaboración propia.	83
Tabla 6.19 Cargas térmicas y densidad de flujo térmico de calefacción y refrigeración para cada estancia. Fuente: elaboración propia.	84
Tabla 6.20 Suelo radiante para calefacción. Fuente: Manual Técnico para Suelo Radiante de UPONOR. [21]	85

Tabla 6.21 Suelo radiante para refrigeración. Fuente: Manual Técnico para Suelo Radiante de UPONOR. [21]	85
Tabla 6.22 Longitud real de la tubería para cada circuito. Fuente: elaboración propia.	86
Tabla 6.23 Caudales de calefacción y refrigeración. Fuente: elaboración propia.	87
Tabla 6.24 Características técnicas de la bomba de calor aerotérmica. Fuente: elaboración propia.	89
Tabla 6.25 Aparatos instalados en la vivienda. Fuente: elaboración propia.	93
Tabla 6.26 Caudales agua fría sanitaria. Fuente: elaboración propia.	94
Tabla 6.27 Caudales agua caliente sanitaria. Fuente: elaboración propia.	94
Tabla 6.28 Diámetros de tuberías principales y ramificaciones. Fuente: elaboración propia.	97
Tabla 6.29 Diámetros de tuberías principales y ramificaciones. Fuente: elaboración propia.	98
Tabla 6.30 Demanda de agua caliente sanitaria. Fuente: elaboración propia.	99
Tabla 6.31 Valores de energía primaria y emisiones de de CO ₂ . Fuente: elaboración propia.	100
Tabla 6.32 Consumo energía primaria y emisiones de CO ₂ para gas + solar térmica. Fuente: elaboración propia.	101
Tabla 6.33 Consumo energía primaria y emisiones de CO ₂ para bomba de calor. Fuente: elaboración propia.	102
Tabla 6.34 Propiedades del agua. Fuente: elaboración propia.	102
Tabla 6.35 Pérdidas de carga en tubería principal de AFS. Fuente: elaboración propia.	104
Tabla 6.36 Pérdidas de carga en tuberías secundarias de AFS. Fuente: elaboración propia.	105
Tabla 6.37 Pérdidas de carga totales de AFS. Fuente: elaboración propia.	105
Tabla 6.38 Pérdidas de carga en tubería principal de ACS. Fuente: elaboración propia.	106
Tabla 6.39 Pérdidas de carga en tuberías secundarias de ACS. Fuente: elaboración propia.	106
Tabla 6.40 Pérdidas de carga totales de ACS. Fuente: elaboración propia.	107
Tabla 6.41 Valores utilizados para Teorema de Bernoulli. Fuente: elaboración propia.	107

Tabla 6.42 Pérdida de carga total en las tuberías. Fuente: elaboración propia. _____	108
Tabla 6.43 Comprobación de presión disponible en los puntos de consumo. Fuente: elaboración propia. _____	110
Tabla 6.44 Demandas de calefacción y refrigeración según PHPP. Fuente: elaboración propia. _____	111
Tabla 6.45 Demanda energética anual total. Fuente: elaboración propia. _____	111
Tabla 6.46 Valor base y factor corrector del consumo energético. Fuente: DB-HE0. [6] _____	113
Tabla 6.47 Valor límite de consumo de energía primaria. Fuente: elaboración propia. _____	113
Tabla 6.48 Consumo de energía primaria. Fuente: elaboración propia. _____	113
Tabla 6.49 Características técnicas de la bomba sumergible. Fuente: elaboración propia. _____	114
Tabla 6.50 Características técnicas sistema filtrado. Fuente: elaboración propia. _____	115
Tabla 6.51 Características técnicas depósito acumulación. Fuente: elaboración propia. _____	116
Tabla 6.52 Características técnicas del grupo de presión. Fuente: elaboración propia. _____	117
Tabla 6.53 Unidades de desagüe y diámetro de las derivaciones individuales de cada aparato. Fuente: elaboración propia. _____	121
Tabla 6.54 Características técnicas depósito acumulación. Fuente: elaboración propia. _____	123
Tabla 6.55 Características técnicas del sistema de depuración. Fuente: elaboración propia. _____	124
Tabla 6.56 Características del generador fotovoltaico. Fuente: elaboración propia. _____	127
Tabla 6.57 Potencia total prevista. Fuente: elaboración propia. _____	128
Tabla 6.58 Propiedades del cobre a 20°C. Fuente: PDF IEEN - ESF 3 "Dimensionado del Cableado Necesario para la Instalación".[22] _____	128
Tabla 6.59 Características conexión a tierra. Fuente: elaboración propia. _____	129
Tabla 6.60 Secciones mínimas normalizadas obtenidas. Fuente: elaboración propia. _____	131
Tabla 6.61 Tipo de canalización e intensidades de los interruptores automáticos. Fuente: elaboración propia. _____	132

Tabla 7.1 Características eléctricas del panel fotovoltaico. Fuente: Ficha técnica AXITEC. [1]	136
Tabla 7.2 Consumo eléctrico para el mes de enero. Fuente: elaboración propia.	137
Tabla 7.3 Consumo eléctrico de la vivienda para cada mes. Fuente: elaboración propia.	138
Tabla 7.4 Radiación solar global para diferentes inclinaciones. Fuente: elaboración propia.	140
Tabla 7.5 Cociente entre consumo diario y radiación solar global. Fuente: elaboración propia.	141
Tabla 7.6 Resumen de los resultados obtenido sobre el consumo total neto, las pérdidas por conexonado, y el consumo total requerido. Fuente: elaboración propia.	142
Tabla 7.7 Pérdidas de la instalación fotovoltaica. Fuente: elaboración propia.	143
Tabla 7.8 C.d.t típicas admisibles en los conductores para instalaciones. Fuente: PDF IEEN - ESF 3 "Dimensionado del Cableado Necesario para la Instalación".	148
Tabla 7.9 Resumen del cableado de la instalación fotovoltaica. Fuente: elaboración propia.	149
Tabla 7.10 Resumen del cableado de la instalación fotovoltaica. Fuente: elaboración propia.	156
Tabla 7.11 Balance energético de la vivienda. Fuente: Informe PVSyst.	162
Tabla 8.1 Comparativa económica y ambiental entre Cas Matà y una vivienda estándar. Fuente: elaboración propia.	164



1. Prefacio

1.1. Origen del trabajo

A lo largo de la carrera he tratado diferentes asignaturas sobre diversos tipos de energías, dimensionado de instalaciones de sistemas renovables, funcionamiento de centrales de generación de energía convencional o renovable, legislación, etc. Sin embargo, nunca había tratado nada referente a la sostenibilidad de la vivienda o inmueble (gran consumidor de energía), y los pasos a seguir para conseguir una casa de bajo consumo energético, y consecuentemente con una producción casi nula de emisiones de gases contaminantes.

Después de cuatro años de carrera, he visto la oportunidad perfecta para solicitar un proyecto que a mi, personalmente, considero que me apasiona, y a lo que me gustaría dedicarme de aquí en adelante. Gracias a un proyecto realizado por una empresa ibicenca, Grupo Terravita S.L., hace aproximadamente un año, cogí la idea de introducirme en el mundo de la construcción sostenible juntamente con la generación de energía en armonía con el medio ambiente. A partir de aquí, empecé a informarme sobre las diferentes certificaciones que abalan los bajos consumos energéticos de las viviendas, en concreto el estándar Passivhaus, y los puntos a seguir para llegar a tener una vivienda bajo estos conceptos.

El trabajo que se expone a lo largo del siguiente documento, nació de un proyecto real realizado en Ibiza que ha sido de gran interés mundial para toda la comunidad interesada en viviendas pasivas, ya que ha conseguido una certificación (Passivhaus Premium), que a día de hoy, solo tienen 5 viviendas en el mundo.

1.2. Motivación

Los cuatro años de estudios me han servido para saber los aspectos que me han gustado de la carrera, y los que no. Lo más importante para llevar un trabajo hacia delante, es conseguir que te guste lo que haces, y consecuentemente, te aporte la motivación necesaria para dedicarle un tiempo diario, e ir avanzando poco a poco.

Partiendo de esta base, consideré indispensable en el momento de elegir el proyecto, que este me despertara interés constante. Como he dicho anteriormente, el proyecto realizado por Grupo Terravita S.L., resultó ser el origen del mío, y las ganas de aprender conceptos nuevos y querer que mi futura vivienda sea una Passivhaus, o se al menos se aproxime a ella, es mi motivación principal.

A esta motivación, se le tiene que sumar la necesidad del cambio de conciencia social sobre la eficiencia energética en las viviendas gracias a la introducción de nuevas normativas de aplicación, tanto a nivel europeo como español. Además el interés propio de conseguir un medio ambiente más sostenible; reducir los consumos de los combustibles fósiles, incrementar el uso de energías

renovables, asegurar que dentro de 10 años el verano seguirá siendo durante los meses de Junio a Septiembre, etc. Es decir, tomar medidas efectivas para reducir el cambio climático y conseguir que las futuras generaciones, puedan disfrutar de los mismos (o al menos de casi todos) los recursos que nos ha brindado a todos nosotros el medio ambiente hasta día de hoy.

2. Objetivos y abasto del trabajo

El objeto de este Trabajo Final de Grado es dimensionar una vivienda unifamiliar ubicada en Ibiza, bajo una serie de criterios bioclimáticos y pasivos, y evaluar su impacto económico y ambiental. Los encargados de recoger estos criterios son los conocidos *estándares de construcción*, de carácter voluntario, no normativo. A través del cumplimiento de estos se consigue reducir las demandas y consumos energéticos de las viviendas, y por lo tanto, las emisiones de CO₂ hacia la atmósfera. En el trabajo expuesto, además de los criterios bioclimáticos, se intenta dar solución al estándar de construcción alemán Passivhaus.

Para conseguir este objetivo, en un primer lugar se debe entender el porqué de este trabajo; es por eso que se introduce la temática mediante la explicación de la principal problemática actual; el cambio climático, y uno de sus principales causantes, los gases de efecto invernadero producidos en parte por los elevados consumos de las viviendas. Seguidamente se determina la situación edificatoria actual en cuanto a términos de eficiencia energética, y finalmente se explican las posibles soluciones adoptadas mediante la arquitectura bioclimática y el estándar de construcción Passivhaus para combatir esta realidad.

A continuación, se dimensiona la vivienda en cuestión; se analiza su ubicación, así como el diseño elegido y los materiales de construcción seleccionados para su adecuado comportamiento (destacar que el diseño y estructuras planteadas para el dimensionado de la vivienda son de carácter orientativo para determinar el comportamiento térmico de esta, es decir que antes de su real aplicación la consistencia del edificio debería ser evaluada por un profesional del ámbito arquitectónico). También se dimensionan las instalaciones interiores de la vivienda; la ventilación, climatización, fontanería, saneamiento y electricidad. Le sigue el dimensionado de la instalación fotovoltaica para abastecer los consumos de la vivienda. El análisis del impacto ambiental que supondría la vivienda, se introduce en unos de los últimos capítulos, así como las conclusiones del trabajo en relación a la aplicación de los conceptos explicados a lo largo de este, tanto a nivel de objetivos como personal.

Por último, y a partir del estudio realizado en cada apartado, se aportan los presupuestos de cada capítulo que componen el trabajo.

3. Contexto

El cambio climático es un tema de interés social, en torno al cual se está creando una conciencia generalizada. Como se ha ido mostrando durante los últimos años, el calentamiento global del planeta es una realidad, y el único que tiene la oportunidad de frenar este fenómeno y reconducirlo para que las futuras generaciones puedan seguir viviendo en el planeta con las mismas condiciones en las que lo hemos conocido hoy en día los presentes, es el hombre.

Es por tanto un reto que las sociedades presentes tenemos que afrontar mediante diferentes iniciativas de carácter mundial, continental, nacional y, sobretodo, personal, para poder hacerle frente.

Desde hace más de dos décadas, se han ido tomando medidas para intentar reducir los efectos del cambio climático, tanto a nivel internacional como nacional. En 1997 se firmó el Protocolo de Kioto, entendido como un compromiso formado entre los países industrializados para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, no solo son estos países los responsables de este fenómeno, no hay que ir tan lejos; el sector inmobiliario (presente en todos los países del mundo) es uno de los grandes responsables de las emisiones de estos gases, ya sean debidos al proceso de construcción o el funcionamiento del edificio. Este sector es el responsable de consumir el 40% de la energía primaria que se consume en Europa, y se destina a calefacción y electricidad para los edificios, con la respectiva emisión de gases de efecto invernadero.

Como consecuencia del compromiso adoptado en el Protocolo de Kioto, han surgido nuevas Directrices Europeas que plasman a nivel nacional este compromiso. En España este documento es el *Código Técnico de la Edificación*, conocido como CTE.

No obstante, además de estas estrategias de carácter internacional y nacional en forma de normativas, aparecen unas estrategias de carácter voluntario relacionadas a criterios de sostenibilidad medioambiental y eficiencia energética:

- Certificaciones medioambientales: LEED, BREEAM, GBCE-VERDE.
- Estándares de construcción: Passivhaus, Effinergie, Minergie-ECO.

Dentro de este contexto, se muestra la conciencia social en referencia a la importancia del concepto de eficiencia energética.

Es gracias a esta conciencia social, juntamente con la posibilidad de ahorro económico, donde las certificaciones medioambientales y los estándares de construcción empiezan a tener peso dentro de la sociedad y a construir un conjunto importante dentro del mercado inmobiliario

3.1. Cambio climático

Se conoce como cambio climático a la variación global del clima en la Tierra debido, entre otras causas, a la acción del hombre. Este hecho es uno de los principales problemas ambientales por las consecuencias que puede conllevar a nivel medioambiental:

- Incremento de temperaturas promedio.
- Tormentas y fenómenos similares.
- Deshielo de los polos e incremento del nivel del agua.

Consecuentemente, afectando también al hombre y a la sociedad:

- Suministro de energía.
- Salud y bienestar.

Esta variación del clima, es consecuencia directa del conocido efecto invernadero. Fenómeno por el cual una gran cantidad de calor de la superficie terrestre es absorbida por los gases de la atmósfera (gases de efecto invernadero), aumentando así la temperatura del planeta.

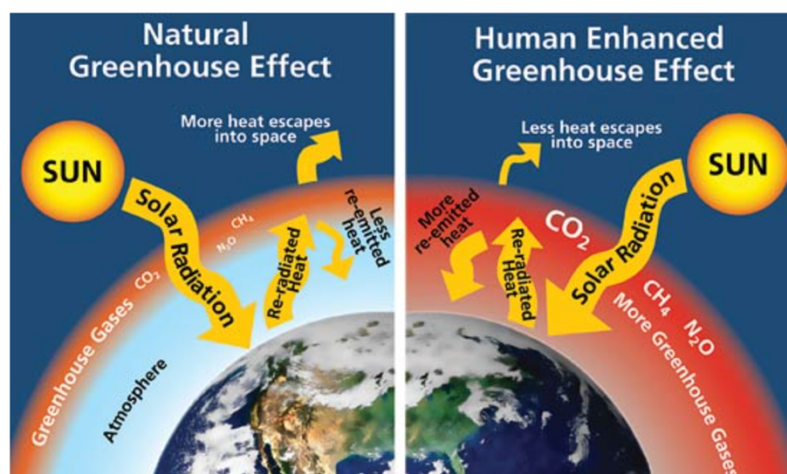


Figura 3.1 Efecto invernadero. Fuente: <http://www.ekoenergy.org>. [10]

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) son: el dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), óxido de nitrógeno (N₂O), gases fluorados (HFC, PFC, SF₆ y NF₃); siendo el CO₂ el principal causante de este fenómeno, producido principalmente por la quema de combustibles fósiles.

A consecuencia del incremento de los GEI, aumenta el efecto invernadero, y consecuentemente el calentamiento global, principal amenaza del cambio climático.

3.1.1. Emisiones de gases de efecto invernadero

El inventario de gases de efecto invernadero de España, serie 1990-2015, establece para el año 2015, según la Tabla 3.1 y Gráfico 3.1, unas emisiones de GEI del 335,6 millones de toneladas de

CO₂-eq¹, suponiendo un aumento del 16,5% respecto al año 1990.

La tendencia a lo largo de los años es creciente, llegando a unas emisiones máximas durante el periodo del 2004-2007. Por segundo año consecutivo, en 2015 se registra un aumento de las emisiones, siendo un 3,9% mayor que las del año anterior (2014).

Tabla 3.1 Emisiones totales brutas de gases de efecto invernadero (kt CO₂ eq). Fuente: Inventario Nacional de GEI de España 1990-2015. [20]

	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014	2015
Emisiones GEI (CO₂-eq)	287.828	327.885	385.588	439.556	356.761	322.874	324.215	335.662
Variación vs año base¹	99,0%	112,8%	132,7%	151,3%	122,8%	111,1%	111,6%	115,5%

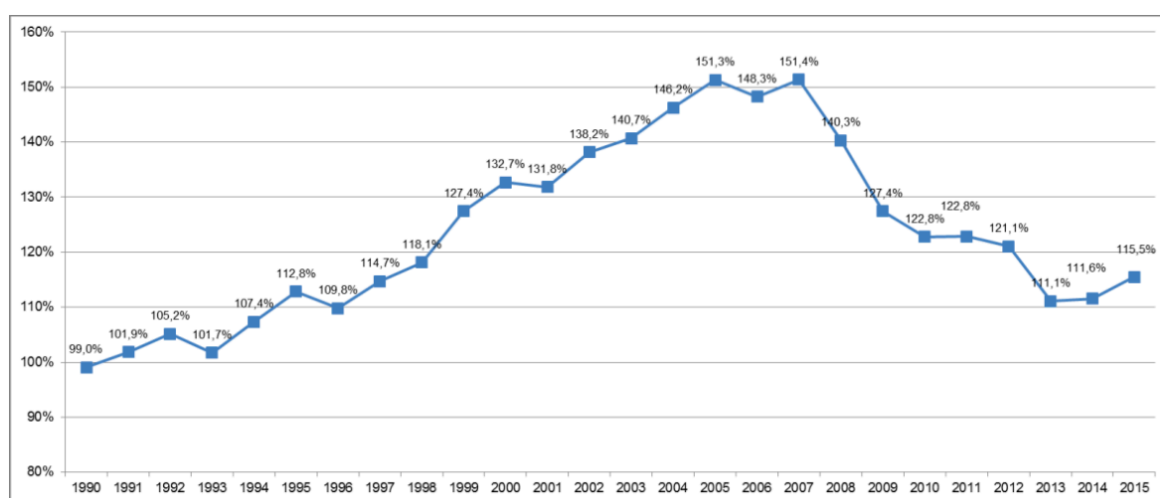


Gráfico 3.1 Evolución de las emisiones de GEI tomando como referencia el primer año de la serie (1990). Fuente: Inventario Nacional de GEI de España 1990-2015. [20]

La tendencia seguida a lo largo de los años, es que las emisiones globales de GEI se originaron principalmente en los procesos de procesamiento de energía, siguiéndole las actividades agrícolas, los procesos industriales y, finalmente, las actividades de gestión de residuos, tal y como se muestra en el Gráfico 3.2.

¹ CO₂ equivalente: conversión de los distintos tipos de gases de efecto invernadero GEI a su equivalente en CO₂.

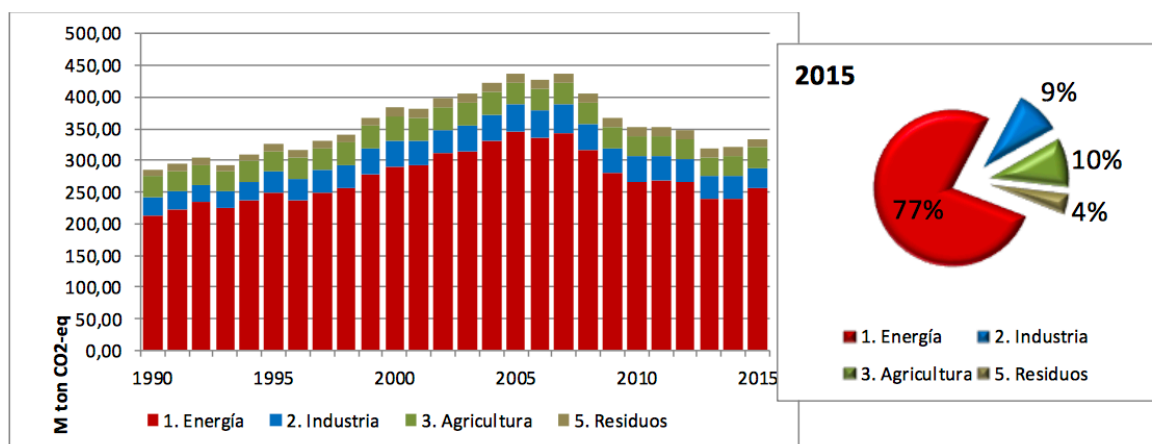


Gráfico 3.2 Distribución anual de las emisiones de GEI por grupo de actividad y detalle para el año 2015. Fuente: Inventario Nacional de GEI de España 1990-2015. [20]

En 2015, más de tres cuartas partes de las emisiones globales se originaron en los procesos de procesamiento de energía, y dentro de este grupo, la generación de electricidad supuso un 22% del total de las emisiones, mientras que el transporte generó un 25% del total de las emisiones. [20]

Las emisiones derivadas de las actividades agrícolas supusieron un 10%, mientras que los procesos industriales generaron un 9% de las emisiones globales. Las emisiones derivadas de las actividades de gestión de residuos se situaron en cuarto lugar con un 4% del total de las emisiones.

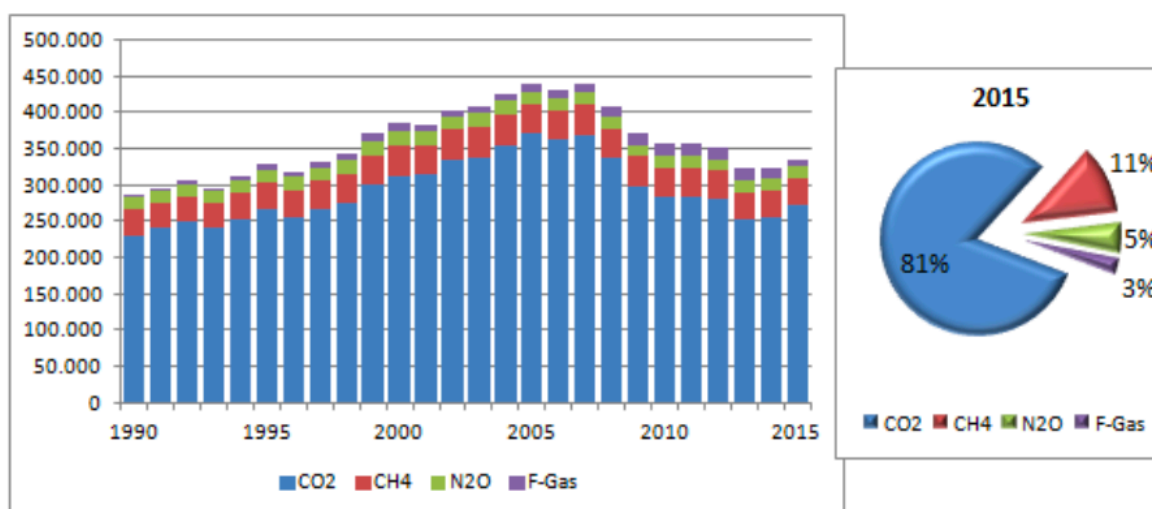


Gráfico 3.3 Inventario Nacional de GEI de España 1990-2015. Fuente: Inventario Nacional de GEI de España 1990-2015. [20]

Por último, el CO₂ sigue siendo el gas de efecto invernadero más emitido (81%), siguiéndole el CH₄ con un 11%, el N₂O con un 5%, y finalmente el conjunto de gases fluorados en un 3% del total.

3.1.2. Estrategias contra el cambio climático

La responsabilidad del hombre sobre sus actuaciones y como estas están afectando al estado del medio ambiente, hacen que el cambio climático sea a día de hoy una realidad incuestionable.

Gracias a la conciencia social, han surgido una serie de estrategias internacionales así como nacionales, y se han desarrollado sistemas de certificación medioambientales así como estándares de construcción, para revertir o minimizar este proceso de cambio. A continuación se citarán las estrategias y normativas tomadas en referencia a la eficiencia energética en la edificación.

3.1.2.1. Estrategias internacionales

Las estrategias tomadas a nivel internacional son las siguientes:

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)

Es un tratado adoptado en 1992 y puesto en vigor en 1994. En él se reconoce la problemática sobre el cambio climático, y permite reforzar la conciencia pública a escala mundial, de los problemas relacionados con este gracias a las reuniones que realizan sus Partes² de manera anual conocidas como Conferencias de las Partes (CP o COP³ en inglés) o Cumbres del Clima. Se fijó como objetivo: “la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas (causadas por el ser humano) peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible”. (*Unidas, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, 1992*).

Protocolo de Kioto [25]

Es un protocolo de la CMNUCC, y un acuerdo internacional que tiene como objetivo reducir las emisiones de los GEI que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), y los gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Esta adición a la CMNUCC es consecuencia del informe de evaluación realizado por el IPCC⁴ en el que se afirmaba que el clima ya había empezado a cambiar a consecuencia de los GEI. El Protocolo de Kioto entra en vigor en 2005, y establece dos períodos de compromiso; del 1 de enero de 2008 al 31 de diciembre de 2012, y del 1 de enero de 2013 al 31 de diciembre de 2020.

² Partes: países miembros de la Convención. Actualmente tiene 196 partes; todos los estados miembros de las Naciones Unidas, Niue, Islas Cook y la Unión Europea.

³ COP: Conference of the Parties.

⁴ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Directivas Europeas

Referente a la eficiencia energética, con la finalidad de llevar a cabo los compromisos adquiridos en las COP por parte de la UE. Estas Directivas son normativas que obligan a unos objetivos concretos al conjunto de la UE o un estado en cuestión, dejándoles a elegir los medios para llevarlos a cabo en cada uno de estos. Destacan dos en concreto: *Directiva 2010/31/UE* y *Directiva 2012/27/UE*.

La *Directiva 2010/31/UE* tiene como objetivo fomentar la eficiencia energética de los edificios sitos en la Unión, considerando las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como las exigencias ambientales interiores y la rentabilidad en términos coste-eficacia. [29]

Partiendo de la base que el 40% del consumo total de la Unión Europea corresponde a los edificios, y de la necesidad de cumplir con el triple objetivo para 2020 (reducir en un 20% las emisiones de GEI, aumentar en un 20% la eficiencia energética y 20% del consumo de energía provenga de fuentes renovables) del *Protocolo de Kioto*. Establece, entre otras, la necesidad de:

- Establecer metodologías de cálculo de la eficiencia energética.
- Lograr que en 2020 los edificios de nueva construcción sean de consumo casi nulo (ECCN).
- Sistema de certificación de eficiencia energética de edificios.
- Inspección periódica de las instalaciones de calefacción y refrigeración de los edificios.
- Sistemas de control independiente de los certificados de eficiencia energética.

La *Directiva 2012/27/UE*, nace como necesidad de modificar la anterior, ya que se prevé que lo establecido en esa no se cumplirá en el período determinado. En ella se encuentra el objetivo de establecer un marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética dentro de la Unión a fin de asegurar la consecución del objetivo principal de eficiencia energética de un 20% de ahorro para 2020, y preparar el camino para mejoras ulteriores de eficiencia energética más allá de ese año[30]. Entre otras, se encuentra la necesidad de:

- Fijar objetivos de eficiencia energética orientativos.
- Estrategias de renovación del parque edificatorio.
- Función ejemplarizante de los edificios de organismos públicos, asegurando la renovación del 3% de la superficie total de los edificios con calefacción y/o refrigeración.
- Garantizar que las nuevas adquisiciones de los organismos públicos tengan un alto rendimiento energético.
- Asegurar el acceso a la realización de auditorías energéticas y sistemas de gestión de energía.

3.1.2.2. Estrategias nacionales

A nivel nacional, se encuentran las normativas para la aplicación y cumplimiento de las Directivas Europeas. Como tales, destacan el Real Decreto 235/2013 y el Real Decreto 56/2016. [23]

El RD 235/2013 deroga al anterior RD 47/2007 que fue el primer Real Decreto en materia de eficiencia energética y sentó las bases de las leyes que vendrían después. Este nuevo Real Decreto transpone parte de la *Directiva 2010/31/UE* estableciendo el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de edificios (tanto existentes como nuevos), e impone la

necesidad de posesión de un certificado de eficiencia energética, por parte del propietario del local o vivienda, en el momento de arrendar o vender el establecimiento.

El RD 56/2016 transpone la *Directiva 2012/27/UE*, referente a las auditorías energéticas y la acreditación de servicios energéticos y auditores.

Cabe destacar que atendiendo a lo dispuesto en la *Directiva 2010/31/UE*, la implementación de Edificios de Consumo Casi Nulo (ECCN) deberá ser de aplicación para todos aquellos edificios de nueva construcción de la administración pública a partir del 2018, y para todo el resto a partir del 2020. Sin embargo, a nivel nacional hasta el mes de Junio del 2017, no había constancia de la definición formal de *Edificio de Consumo Casi Nulo*, apareciendo 6 meses antes de su entrada en vigor y mostrando así, el inmovilismo por parte de la Administración Central hacia el camino de la eficiencia energética en la edificación.

La definición se recoge en el *Documento Básico de Ahorro de Energía* del CTE, siendo la definición la siguiente: “Edificio de consumo de energía casi nulo: edificio que cumple con las exigencias reglamentarias establecidas para edificios de nueva construcción en las diferentes secciones de este Documento Básico”.

3.2. Situación actual de la edificación en España en cuanto a eficiencia energética

Conocer la situación actual del país, en cuanto a términos de eficiencia energética en el sector edificatorio se refiere, es de fundamental importancia para entender el cambio que se está produciendo en España (a manos de las Directivas Europeas) para ayudar a combatir el cambio climático.

Una vez estudiada la situación edificatoria energéticamente eficiente en la que se encuentra España a día de hoy, se tendrá visión de la magnitud de consumo energético que resulta de este sector, y por lo tanto, podrá ser evaluada la viabilidad de implantación y la necesidad evidente de los estándares de construcción.

Para realizar este análisis se recogen datos de un informe generado por el IDAE⁵, en concreto:

- Proyecto SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. [18]

3.2.1. Número de viviendas totales y distribución según normativa en materia de eficiencia energética

Según el informe sobre el *Análisis del consumo energético del sector residencial en España* realizado por el IDEA del año 2011, en España el número total de viviendas ascendía a un total de 17.199.630 unidades en 2010, tal y como se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Censos de Viviendas en 2010. Fuente: IDAE-Proyecto SECH-SPAHOUSEC. [18]

Características vivienda		TOTAL ESPAÑA	Año de Construcción		
			Anterior a 1979	Entre 1979 y 2005	De 2006 en adelante
	Media de estancias	8,0	7,5	8,5	8,2
	Media de tamaño en m ²	102,4	92,8	109,9	109,7

Base: Total hogares 2010 (17.199.630)

Analizando la normativa vigente durante los años en los que se construyeron las viviendas mostradas en la tabla anterior, se puede clasificar en cierta manera, el tipo de edificación que se

⁵ IDEA: instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

encuentra a día de hoy en España, hablando en términos de eficiencia energética:

- Año 1979: NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en la edificación.
- Año 2006: DB HE del CTE, Ahorro de Energía.
- Año 2013: DB HE del CTE, Ahorro de Energía. Modificación del documento básico del 2006.
- Año 2017: DB HS del CTE, Salubridad, y DB HE del CTE. Modificación del apartado “HS3 Calidad del aire interior”, y pequeñas correcciones en el “Documento Básico Ahorro de Energía”.

La *NBE-CT-79*, sobre condiciones térmicas en la edificación, era un documento de las Normas Básicas de Edificación vigentes en la época. Se trataba de un documento elemental en cuanto a las exigencias térmicas que establecía. El cumplimiento no era otra cosa más que la cumplimentación de unos datos térmicos (transmisión global-coeficiente KG, transmisión de calor-coeficiente K, comportamiento higrotérmico y permeabilidad) que generalmente se copiaban y pegaban de un proyecto a otro, siendo el arquitecto quién establecía las soluciones constructivas que considerase pertinentes basándose en su criterio, y no en una normativa estricta y controlada. Como consecuencia de esta pobre normativa, los resultados obtenidos en los edificios son energéticamente deficientes.[9]

El DB HE del CTE del 2006, supuso todo en un avance en cuanto a las exigencias en materia de eficiencia energética de los edificios. Introdujo valores orientativos sobre aislamientos térmicos, vidrios de baja emisividad térmica, así como la incorporación de placas solares para la producción de agua caliente sanitaria (ACS).

La modificación del HE del CTE en el 2013, constituye la primera fase de aproximación hacia los objetivos que fija la *Directiva Europea 2010/31/UE* para los Edificios de consumo casi nulo (ECCN), que se establecerán en el año 2018 para edificios públicos y 2020 para privados, sin embargo –tal y como se ha comentado anteriormente- la definición formal de este término no se determinó hasta Junio de 2017. Este supuso un endurecimiento de las exigencias marcadas en el anterior documento, estableciendo por ejemplo, la limitación del consumo energético y la demanda de calefacción y refrigeración, mejoras en los aislamientos térmicos, en los tipos de vidrio y la envolvente del edificio en general.

Después de esta modificación del 2013 y hasta día de hoy, diversos Documentos Básicos han ido sufriendo pequeñas modificaciones para adaptarlos a los cambios hechos en normativas. Sin embargo estos no han tenido la misma importancia que tuvo en su día la modificación del DB HE del 2013. Implicó el cambio cuantitativo y cualitativo en términos de eficiencia energética, ya que introdujo una serie de limitaciones de consumos que hasta ese momento no habían sido restringidas. De todas formas, se tiene que decir que la normativa vigente actual, dista mucho de los estándares verdaderamente sostenibles que serían necesarios para reducir eficientemente los consumos energéticos de las viviendas, responsables del 40% de la energía que se consume en Europa y responsable de los gases de efecto invernadero que esta genera.

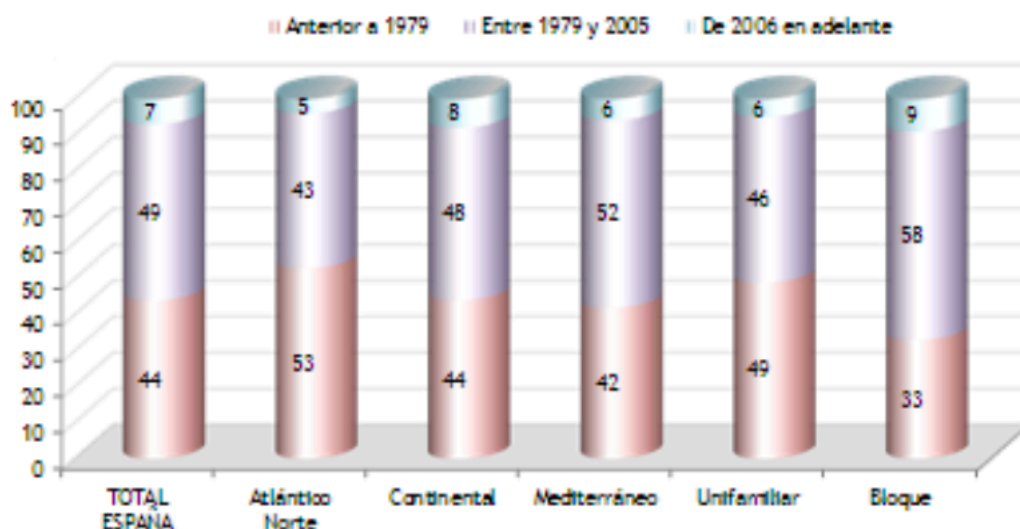


Gráfico 3.4 Antigüedad de la vivienda por tipo de vivienda. Fuente: IDAE-Proyecto SECH-SPAHOUSEC. [18]

Conociendo ahora el marco normativo español, se puede cuantificar la cantidad de viviendas españolas contabilizadas anteriormente que corresponden a cada marco legislativo. Tal y como muestra la Tabla 3.2 y el Gráfico 3.4, se ve reflejada esta cuantificación mediante porcentajes. Como se aprecia, el 49% de las viviendas españolas se construyeron dentro del marco normativo comprendido entre el 1979 y 2005. El 44% fueron construidas anteriores al 1979, y únicamente un 7% de las viviendas se encuentran edificadas a partir del 2006, y consecuentemente, con la nueva normativa.

Conocida esta distribución, se puede asegurar que gran parte del parque edificatorio español que se encuentra a día de hoy, ha sido construido durante precarios períodos normativos en cuanto a términos de eficiencia energética se refiere. Es por este motivo que el sector residencial se encuentra dentro de los principales consumidores de energía, y debido al poco uso de las fuentes de energías renovables para la generación de esta, uno de los principales productores de GEI.

3.2.2. Consumos y emisiones de GEI del parque edificatorio de España.

Al estudiar la situación edificatoria en España, se evalúan los consumos de energía destinados a cada uno de los diferentes aspectos a considerar en una vivienda. En la Tabla 3.3, se especifica el consumo de cada “uso” considerado.

Analizando los consumos totales finales, se observa claramente el predominio del consumo de energía final proveniente de combustibles siendo este repartido entre la calefacción con un 288.574 TJ, la producción de agua caliente sanitaria con un 116.243, los electrodomésticos y la cocina. En el Gráfico 3.5, se muestra de manera gráfica los valores de cada uno de los usos mostrados en la Tabla 3.3, siendo la producción de calefacción el que obtiene el mayor consumo, representando casi la mitad de todo el consumo del sector. Destacar que solamente el conjunto de calefacción y producción de ACS, supone el 65,9% del consumo energético total de una vivienda.

Tabla 3.3 Consumo energético del sector residencial en España según uso. Fuente: IDAE-Proyecto SECH-SPAHOUSEC.[18]

USOS FINALES	CONSUMO FINAL		
	ELECTRICO	COMBUSTIBLES	TOTAL
	TJ	TJ	TJ
CALEFACCIÓN	15.907	272.667	288.574
AGUA CALIENTE SANITARIA	16.129	100.114	116.243
COCINA	20.063	25.588	45.651
REFRIGERACIÓN	5.042	107	5.148
ILUMINACIÓN	25.366		25.366
ELECTRODOMÉSTICOS	133.470		133.470
Frigoríficos	40.834		40.834
Congeladores	8.083		8.083
Lavadoras	15.812		15.812
Lavavajillas	8.083		8.083
Secadoras	4.469		4.469
Horno	11.022		11.022
TV	16.263		16.263
Ordenadores	9.906		9.906
Stand-by	14.292		14.292
Otro Equipamiento	4.707		4.707
CONSUMO TOTAL	215.978	398.475	614.453

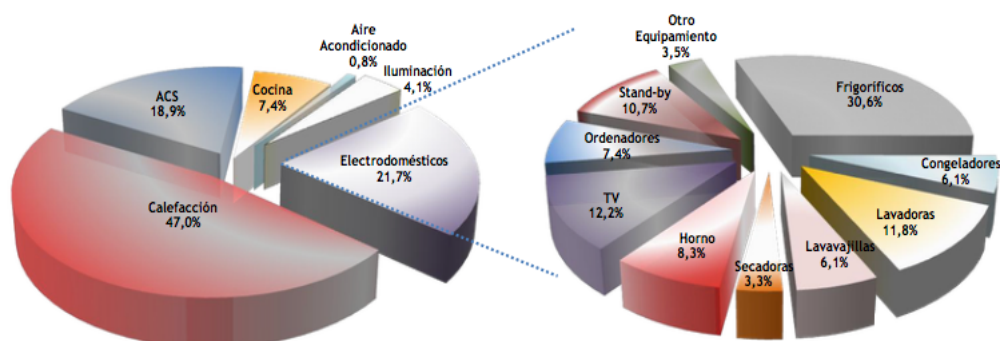


Gráfico 3.5 Estructura de consumo según usos energéticos. Fuente: Proyecto SECH-SPAHOUSEC. [18]

La electricidad continúa siendo la fuente de energía principal, con un 35,1% del total. En segundo lugar, se encuentra con un 24,9% el gas natural, siguiéndole con unos resultados casi similares, los productos petrolíferos (22,1%) y las energías renovables (17,7%). En último lugar, se encuentra el carbón, representado con un 0,1%.

Se puede decir, por tanto, que la energía proveniente de fuentes renovables ha cogido cierto peso, siendo su principal fuente la biomasa (94,2%), seguida de la solar térmica (5,4%), sin embargo queda mucho camino por recorrer para conseguir que esta sea la principal fuente energética en el país.

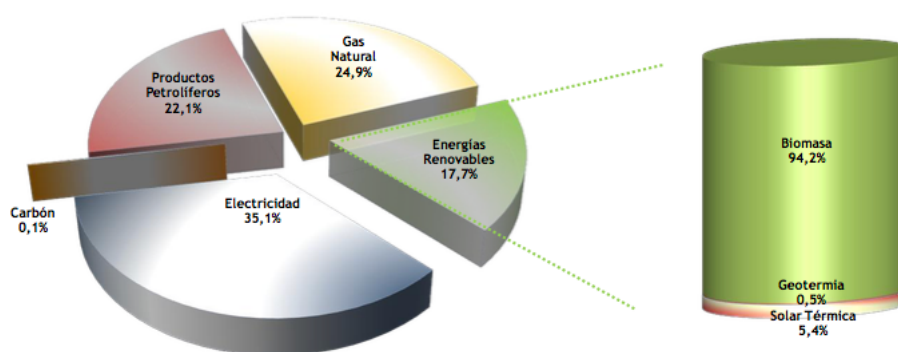


Gráfico 3.6 Estructura de consumo según fuentes energéticas. Fuente: Proyecto SECH-SPAHOUSEC. [18]

3.2.3. Conclusiones sobre la situación actual del parque edificatorio en España en cuanto a eficiencia energética

Para finalizar el análisis de la situación edificatoria actual, tal y como se ha ido mostrando en las tablas y gráficos anteriores, se llega a la conclusión que casi más de la mitad de las viviendas españolas se realizaron bajo una normativa pésima en cuanto a términos de eficiencia energética. Es por ello que estas son unas grandes consumidoras de energía, ya que su consumo principal reside en la producción de calefacción para asegurar un buen confort interior, produciendo por tanto, un derroche de energía en los sistemas de climatización.

Este derroche de energía, se debe básicamente, a las bajas prestaciones edificatorias presentes en las construcciones hasta día de hoy. Estas carecen de un buen aislamiento térmico (puentes térmicos), así como una envolvente hermética y estanca (infiltración de aire indeseada), buena orientación y sombreadamientos (calefacción o refrigeración pasivas), buenas prestaciones en ventanas (puentes térmico) y una ventilación cruzada regulada con recuperación de calor.

Hasta la normativa que se encuentra a día de hoy, el requerimiento de un material para proporcionar buen aislante térmico, y por lo tanto; asegurar la eliminación de puentes térmicos, era un aspecto irrelevante. De la misma manera que tampoco se hacía una envolvente hermética, que impidiera las infiltraciones de aire indeseadas en la vivienda, eliminando así la entrada incontrolada de aire en esta, y consecuentemente, aumentando o disminuyendo la temperatura interior.

Como consecuencia directa de la necesidad de ofrecer más viviendas en las ciudades, se empezó a construir de forma masiva y repetitiva, sin considerar las buenas orientaciones para proporcionar una climatización pasiva en las viviendas, ni tampoco las prestaciones de los materiales utilizados y cerramientos, como son, por ejemplo, las ventanas. A través de estas, entra la energía calorífica del sol, que hace de calefacción gratuita en invierno, pero por el contrario, también se escapa la creada en el interior de la vivienda. Las ventanas no se consideraban como una prestación importante a tener en cuenta, ya que independientemente del aporte calorífico, o pérdida de este, existía la tecnología necesaria para que la climatización se hiciera a través de una maquinaria y no aprovechando el calor gratuito, consumiendo por lo tanto energía. Esta energía podría haber sido

ahorra si des de un principio, la construcción hubiese sido la adecuada.

Por todo ello, el sector residencial actual consume grandes cantidades de energía para poder satisfacer un confort térmico adecuado a las personas que se encuentran en su interior, así como el abastecimiento energético para el resto de las necesidades. Este sector es el responsable de consumir un 40% de la energía en Europa, y por lo tanto, de la producción de sus respectivos gases de efecto invernadero.

Cabe destacar que los resultados evaluados sobre el *Análisis del consumo energético del sector residencial en España* realizado por el IDAE, en ningún momento se contemplan los edificios rehabilitados. Para llevar a cabo un estudio más profundo, debería ser analizado también, el valor de edificaciones remodeladas, y el año en el que estas se llevaron a cabo.

3.3. Introducción a la arquitectura bioclimática

El *desarrollo sostenible* se describe con la oración “Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades”.

El ámbito del desarrollo sostenible puede dividirse conceptualmente en tres partes: ambiental, económica y social. Se deben satisfacer las necesidades de la sociedad, pero estas están limitadas por el nivel tecnológico, los recursos del medio ambiente y la capacidad de este para absorber los efectos de la actividad humana.

Ante esta situación, se plantea la posibilidad de mejorar la tecnología y la organización social para conseguir la recuperación del medio ambiente al mismo ritmo que es afectado por la actividad humana.

3.3.1. Arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática es un tipo de arquitectura donde el equilibrio y la armonía son una constante con el medio ambiente. Busca lograr un elevado nivel de confort térmico, teniendo en cuenta el clima y las condiciones del entorno. Mediante la adecuación del diseño, la geometría, la orientación y la construcción del edificio (adaptado a las condiciones climáticas de su entorno), intenta conseguir este confort térmico interior.

El desarrollo de los nuevos sistemas de acondicionamiento ambiental, desembocaron en una arquitectura indiferenciada, repetitiva para cualquier situación climática, caracterizada por unos edificios sin orientación. En este contexto, alcanzar un nivel de confort dependía exclusivamente de los equipos de climatización, con el consiguiente derroche energético que estos suponen. Cabe destacar, que una gran parte de la arquitectura tradicional ya funcionaba según los principios bioclimáticos: orientación y tamaño de las ventanas, materiales utilizados con determinadas propiedades térmicas, ubicación de las viviendas, etc.

En definitiva, se trata de una arquitectura adaptada al medio ambiente, sensible al impacto que provoca en la naturaleza, y que intenta minimizar el consumo energético y con él, la contaminación ambiental. Minimiza los sistemas de apoyo (para la climatización), ya que juega -exclusivamente- con los elementos arquitectónicos para incrementar el rendimiento energético y conseguir el confort de forma natural. Para ello el diseño bioclimático supone un conjunto de restricciones, pero con unos elevados grados de libertad para el diseño según el gusto de cada cual.

Con el fin de conseguir una eficiencia energética, este tipo de arquitectura tiene en cuenta aspectos como son las condiciones del terreno, el recorrido del sol, las corrientes de aire, etc. Aplicando estos aspectos a la distribución de los espacios, la apertura y orientación de las ventanas, y los sombreadamientos, entre otros, se consigue su principal objetivo; la reducción de elementos de apoyo para su funcionamiento eficiente. No consiste en inventar cosas extrañas sino diseñar con los elementos ya existentes y saber sacar el máximo provecho a los recursos naturales. Esto no tiene que condicionar el aspecto de la construcción, que es completamente variable y

perfectamente acorde con las tendencias y el diseño de una buena arquitectura.

Mirando al pasado, se observan grandes ejemplos de viviendas construidas bajo estas técnicas bioclimáticas, dejando como herencia estos conocimientos generación tras generación. En España estos ejemplos se pueden encontrar en el sur de la península; Granada y sus casas cuevas, situadas en una localización con temperaturas extremas entre verano e invierno, se consigue una temperatura interior casi constantes a partir de su inercia térmica. Los patios andaluces; patio interior cerrado que proporciona abundante sombra y está dotado de abundante vegetación y elementos de agua, como fuentes, para refrescar el ambiente. Y sin alejarnos tanto, la arquitectura ibicenca; casas blancas (forradas con cal para conseguir la permeabilidad a la humedad) para conseguir reflejar el calor del sol en veranos, dotadas de gruesos muros exteriores y pequeñas ventanas, para resguardarlas del frío del invierno, y de los veranos calurosos.

3.3.2. Objetivos y conceptos de la arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática fija una serie de objetivos para el logro de sus principios anteriormente explicados:

- Menor demanda energética del edificio; maximizando las ganancias de calor y reduciendo pérdidas de energía del edificio en invierno, y viceversa en verano, logrando así una calidad del ambiente interior.
- Disminuir el gasto de agua e iluminación; haciendo uso de las aguas pluviales y residuales, y de la luz solar.
- Economizar el consumo de combustibles.
- Disminuir la emisión de gases contaminantes.

La arquitectura bioclimática utiliza como elemento de control térmico el mismo diseño arquitectónico, basado en diversos aspectos:

- Ubicación.
- Orientación.
- Captación solar y ventilación.
- Forma de la vivienda; influyendo sobre la superficie de contacto.
- Integración de energías renovables

3.4. Estándar Passivhaus

La arquitectura pasiva se define como “aquella que se adapta a las condiciones climáticas de su entorno, y existe desde la antigüedad” [37] Se puede decir que la arquitectura bioclimática y la arquitectura pasiva son sinónimas.

Al igual que la arquitectura bioclimática, se basa en criterios basados en la experiencia de la arquitectura tradicional y pretende proporcionar el máximo confort térmico a partir de la configuración arquitectónica haciendo el menor uso posible de sistemas activos.

3.4.1. Filosofía

El estándar de construcción Passivhaus surgió en 1988 por los profesores Bo Adamson, de la Lund University de Suecia, y Wolfgan Feist, Profesor del Instituto de Edificación y Medio Ambiente de Alemania y actual director del Passive House Institute de Darmstadt.

En un principio este estándar se desarrolló principalmente en climas centroeuropeos, pero en la actualidad, se está expandiendo a otros climas más cálidos como el que nos concierne, el Mediterráneo. El primer edificio realizado bajo este estándar fue construido en Darmstadt en 1991, y su funcionamiento ha sido monitorizado durante 25 años con excelentes resultados y sin variaciones significativas.

Es muy importante que en el momento de proyectar una Passivhaus, no solo se tengan en cuenta los criterios y técnicas establecidos por este estándar, sino también las medidas pasivas propias de la arquitectura popular para su puesta en práctica desde su inicio, para así reducir la demanda y consumo energético en su puesta en funcionamiento, y requiriendo por tanto menores medidas activas de refrigeración y calefacción. El estándar establece una serie de criterios constructivos y técnicos a tener en cuenta en el diseño, así como unos valores de demanda, consumo y hermeticidad al aire determinados, para asegurar la cumplimentación de este.

Analizando el mapa español, actualmente se encuentran un total de 113 edificaciones [24] que cumplen con el estándar alemán siendo desde viviendas unifamiliares aisladas, viviendas colectivas, hasta oficinas o aulas escolares. Es decir, que el estándar puede ser aplicado a todo tipo de edificaciones, siendo puntero en viviendas residenciales. En el año 2015, el territorio español tenía un total de 37 edificaciones pasivas, 76 menos de las que se encuentran a finales del año 2017. Es por eso, que aun siendo una gran minoría, cabe destacar la acogida y conciencia social por parte del territorio nacional de este estándar de construcción en los últimos dos años.

Al realizar una Passivhaus, no se evalúa el pequeño aumento de inversión monetario en el momento inicial, sino que se estudia el ahorro económico obtenido a lo largo del tiempo; librándose así de la doble hipoteca (económica y energética), y teniendo la simplemente económica, además del confort y calidad interior de la vivienda.

3.4.2. Medidas pasivas en la arquitectura bioclimática

Seguido con lo mencionado anteriormente, el diseño pasivo de las edificaciones es determinante

des de su inicio para alcanzar los parámetros establecidos por el estándar Passivhaus, de manera que el no hacer uso de estos puede suponer la imposibilidad de alcanzar dichos parámetros.

A continuación se describen los aspectos a considerar para el adecuado diseño de los edificios:

Orientación y protección solar

En el clima Mediterráneo es fundamental la orientación del edificio así como los huecos en relación a este, ya que serán los dos aspectos determinantes en la demanda energética de la vivienda en cuanto a refrigeración y calefacción se refiere.

Los huecos son los elementos encargados de transmitir la radiación solar al interior de la vivienda, y por lo tanto, los puntos con mayor transmitancia térmica. Es de decir, que el control en cuanto a orientación, tamaño y elementos de protección solar son fundamentales.

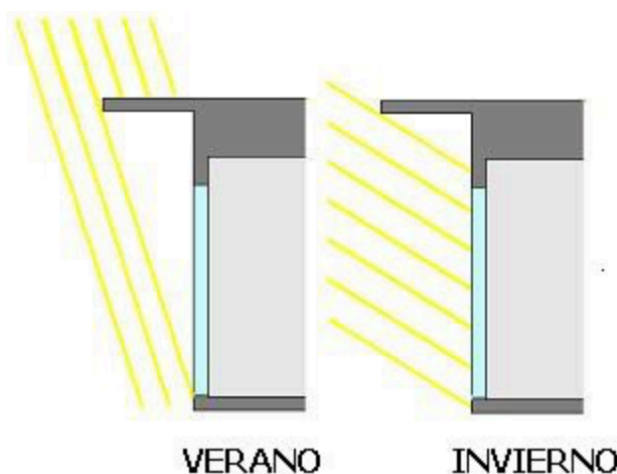


Figura 3.2 Radiación solar incidente. Fuente: <http://www.sitiosolar.com>. [34]

En el clima que se está proyectando, es muy importante que la orientación de la fachada más alargada, y con mayores aberturas, sea sur. Y que esta esté dotada de voladizos bien dimensionados que permitan la entrada de radiación solar en invierno y la impida en verano. Referente a la orientación norte, es importante controlar el número de huecos así como su tamaño, ya que no reciben gran cantidad de radiación solar. En las orientaciones este y oeste, la radiación solar incidente llega con poca inclinación, por lo que es complicada su protección. Las opciones residen en reducir el número de huecos en estas orientaciones, o utilizar elementos de protección, como son las persianas o cortinas, para reducir la incidencia solar en verano, y aumentarla en invierno. La radiación solar es la fuente pasiva de calefacción en invierno pero se puede convertir en un inconveniente en verano. La protección solar permite optimizar los huecos del edificio para maximizar las ganancias solares en invierno y minimizarlas en verano.

Además de los elementos constructivos para el control de la radiación solar sobre los huecos, la vegetación tiene un importante papel como elemento protector. Por ejemplo, en las fachadas sur, la vegetación caduca colocada en porches de manera horizontal, permite que el sol no penetre en

verano, y la incidencia de este en invierno.

Compacidad

La compacidad se define como la relación entre la superficie de la envolvente y el volumen que encierra; a menor relación mayor compacidad. [15]

$$\text{Compacidad} = \frac{\text{Superficie (m}^2\text{)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Cuanto más compacto sea un edificio, menores serán las pérdidas energéticas a través de su envolvente, y por tanto mejor comportamiento térmico tendrá. Sin embargo, la compacidad no debe ser un imperativo que perjudique la calidad arquitectónica de los edificios y de su entorno urbano.

Reflectividad térmica

La absorción de la radiación, puede regularse mediante el uso de materiales reflectantes en la fachada.

$$\text{Reflectividad} + \text{Absortividad} = 1 \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Aumentando la reflectividad de las superficies exteriores se disminuye la absorción de la radiación solar disminuyendo así la demanda de refrigeración en verano. Al tratarse de un clima más bien cálido, se aconseja el uso de materiales claros para conseguir que la envolvente del edificio no absorba toda la energía calorífica del sol.

3.4.3. Criterios de la arquitectura Passivhaus

Además de las medidas pasivas comentadas en el apartado anterior, se especifican una serie de criterios a considerar para asegurar el cumplimiento del estándar. La siguiente figura muestra resumidamente los parámetros a tener en cuenta en este tipo de edificaciones.

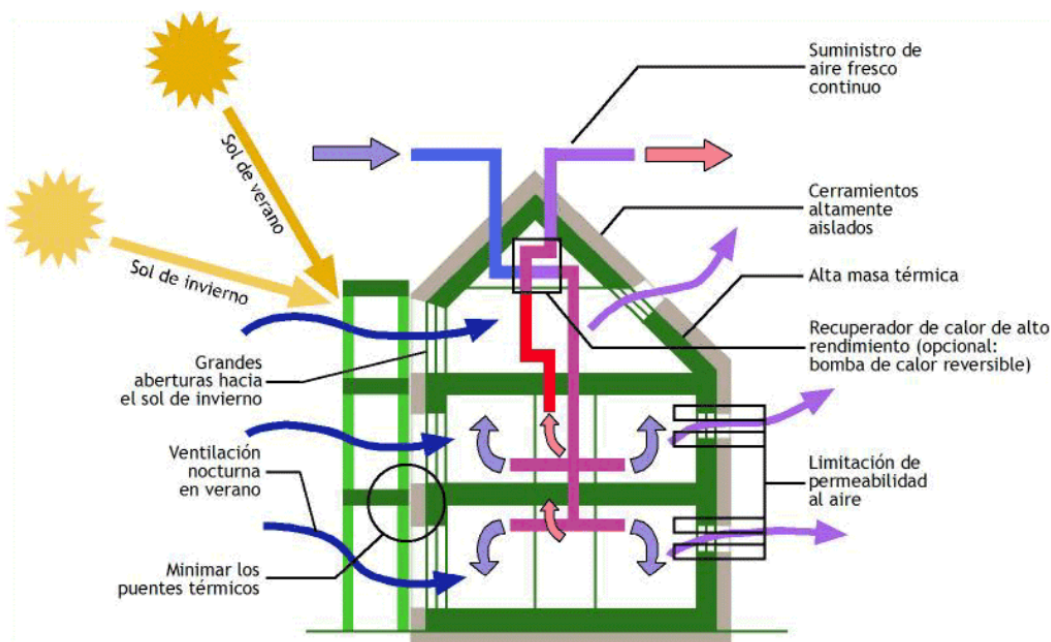


Figura 3.3 Esquema de una casa pasiva contemporánea. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos*, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]

Aislamiento térmico



Figura 3.4 Criterio de aislamiento térmico en Passivhaus. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos*, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]

El aislamiento térmico sirve para mantener las estancias interiores de la vivienda en un ambiente de confort aislándolas del clima exterior. El aislamiento debe ser continuo en la envolvente siguiendo la “regla del rotulador”, tal y como el Passive House Institute la define, mejorando así el comportamiento térmico del edificio; especialmente en invierno, cuando la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es mayor, e impidiendo la transmisión de calor hacia el exterior.

Esta “regla del rotulador” consiste en asegurar que tanto en los planos vistos desde planta, como en las secciones, es posible dibujar una línea continua sobre el aislamiento de la envolvente, y de su mismo espesor. Mediante la discontinuidad de esta, se pueden detectar los posibles puentes térmicos existentes en la envolvente de la vivienda.

Este criterio se cuantifica mediante la *transmitancia térmica*, expresada en W/m^2K . Cuanto menor sea el valor de esta, mejor comportamiento aislante tiene el material utilizado.

Inercia térmica

La inercia térmica es la capacidad de un elemento constructivo en contacto directo con el aire de absorber y almacenar una cantidad determinada de energía hasta alcanzar un punto de saturación en el que el flujo de energía se invierte y vuelve a fluir desde el elemento constructivo hacia el aire.

Es decir, se puede considerar la inercia térmica como un gestor de energía. La batería, se carga gracias a la radiación solar y a las ganancias energéticas internas, y se descarga durante la noche de forma natural (ventilación cruzada) o artificial, ayudando a regular térmicamente la vivienda de manera pasiva, y por lo tanto reduciendo el consumo energético. En verano esta descarga se realiza durante la noche gracias a la ventilación cruzada natural ofrecida por la vivienda, consiguiendo así que la carga térmica almacenada en los elementos constructivos se disipe hacia el exterior. Sin embargo, en invierno esta descarga se realiza hacia los espacios interiores de la vivienda, haciendo así la función de calefacción pasiva.

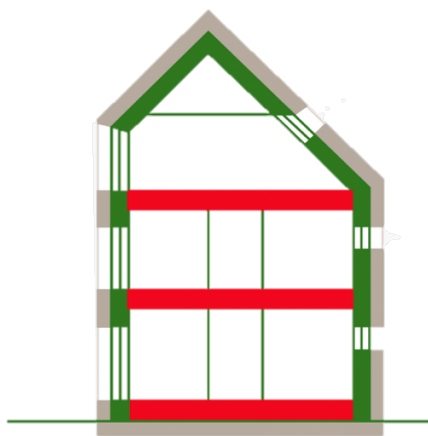


Figura 3.5 Criterio de inercia térmica en Passivhaus. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]

Ausencia de puentes térmicos

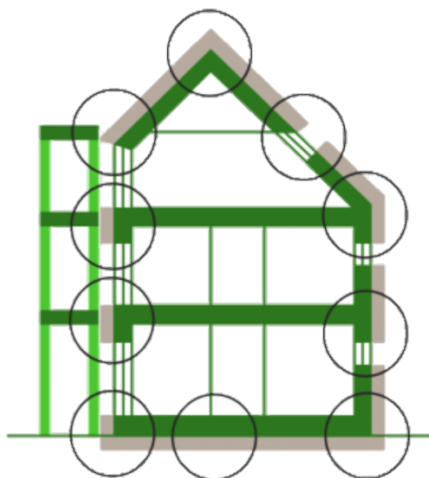


Figura 3.6 Criterio de puentes térmicos en Passivhaus. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]

Los puentes térmicos son lugares de geometría lineal o puntual del cerramiento exterior donde el flujo de energía es más mayor que en el resto. Estos puentes térmicos perjudican la eficiencia energética del edificio, y aumentan el riesgo de humedades (síntoma habitual en las esquinas interiores de las viviendas convencionales en climas húmedos).

De la misma manera que en una vivienda poco aislada los puentes térmicos tienen una importancia insignificante, y que en una Passivhaus estos cobran un alto papel. En los climas centroeuropeos (fríos) estos son mucho más relevantes que en un clima cálido, ya que el gradiente de temperatura es mayor en un clima frío que en uno cálido.

El estándar Passivhaus garantiza la máxima continuidad de la envolvente exterior minimizando los puentes térmicos y garantizando la no formación de condensaciones ni de mohos superficiales.

La vivienda que se está diseñando, se considera libre de puentes térmicos debido al diseño continuo de su aislamiento térmico. Una vez la casa está construida, mediante una cámara termográfica, se evalúa el comportamiento térmico de esta.

Altas prestaciones de ventanas y puertas

Las ventanas son el elemento constructivo más débil energéticamente de la piel del edificio. Es por ello que el Passive House Institute ha establecido una serie de criterios a considerar para la correcta elección de este componente.

La transmitancia térmica de las ventanas debe ser (vidrio y carpintería) menor o igual a $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ en climas centroeuropeos. Se utilizan ventanas con doble o triple vidrio rellenas de gas noble, dependiendo del clima, combinadas con carpinterías de altas prestaciones térmicas. El vidrio utilizado es un bajo emisor, para reflejar el calor del interior del edificio en invierno, y mantenerlo

en el exterior en verano. En climas cálidos, las transmitancias pueden coger valores mayores.

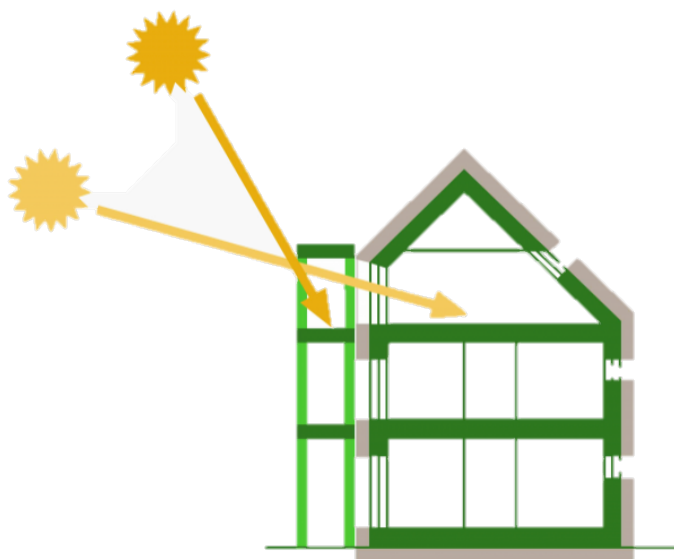


Figura 3.7 Criterio de prestaciones en puertas y ventanas en Passivhaus. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]

La selección del vidrio depende del factor solar g^6 y varía en función de las condiciones climáticas. En algunas zonas climáticas puede interesar maximizar las ganancias solares durante el invierno y en otras minimizarlas durante el verano. Es por ello que en el clima mediterráneo se aconseja el uso de un factor solar g entre 0,4 y 0,5.

Otra característica importante es la colocación de estas; deberán estar enrasadas con el aislamiento térmico para evitar los puentes térmicos, y caracterizarse por su elevada hermeticidad al paso del aire.

Las puertas deben tener unos valores de transmitancias térmicas bajos, pudiendo coger, en los climas cálidos, valores superiores a $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Estas deberán tener un muy buen comportamiento frente la hermeticidad al aire.

⁶ Factor solar g : cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del vidrio y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco transparente.

Hermeticidad

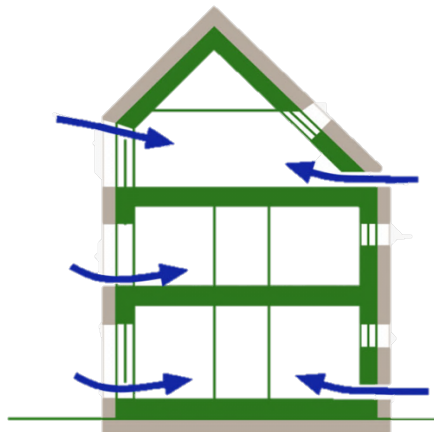


Figura 3.8 Criterio de hermeticidad en Passivhaus. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]

Las casas pasivas tienen un aislamiento térmico muy alto, las juntas constructivas deben tener muy pocas pérdidas de infiltración de aire. Las infiltraciones forman parte de las pérdidas energéticas no deseadas y no controladas que provocan un flujo de aire caliente hacia el exterior en invierno y hacia el interior en verano.

La hermeticidad al aire es un aspecto clave dentro del estándar Passivhaus que repercute de manera importante en la eficiencia energética del edificio, garantizando el correcto funcionamiento y el rendimiento de la ventilación de doble flujo con recuperación de calor. Además del aspecto energético, las infiltraciones de aire exterior generan desconfort y un movimiento de aire indeseado, generando corrientes de aire y aumentando el riesgo de condensaciones.

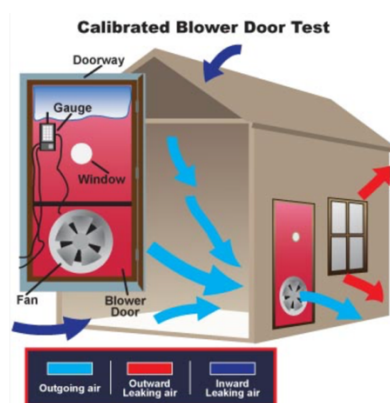


Figura 3.9 Test Blower-Door. Fuente: : Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]

La hermeticidad se comprueba con el test de Blower-Door (prueba de presurización). Consiste en un ventilador colocado en una puerta exterior creando una diferencia de presión de 50 Pa. La

envolvente exterior del edificio debe tener un resultado de la prueba de la presurización según EN 13829 inferior a 0.6 renovaciones de aire por hora como requisito para obtener la certificación Passivhaus.

Ventilación controlada con recuperación de calor

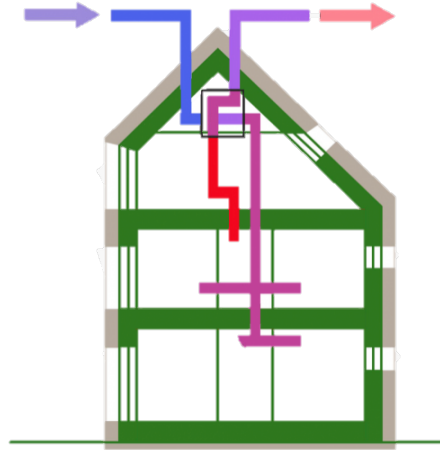


Figura 3.10 Criterio de ventilación controlada con recuperador de calor. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [38]

La función de la ventilación es asegurar la calidad higiénica de los espacios interiores y garantizar la extracción al exterior de agentes que pueden ser nocivos para el cuerpo humano o el edificio como CO_2 y otros gases nocivos; el vapor de agua, componentes orgánicos volátiles (COV) y olores de la actividad humana.

Los sistemas de ventilación pueden ser:

- Ventilación natural.
- Ventilación híbrida. Consiste en dejar entrar el aire exterior a través de aireadores o aperturas de admisión, pasando este a través de rejillas de paso hacia las estancias húmedas de donde se extrae el aire viciado.
- Ventilación mecánica con recuperador de calor. Consiste en recuperar gran parte de la energía que sale hacia fuera a través de la ventilación cuando se renueva el aire utilizado, de malas características higiénicas, para pre-acondicionar el aire fresco del exterior. Esta recuperación se realiza mediante un recuperador de calor.

La utilizada en el estándar Passivhaus es la ventilación mecánica con recuperador de calor, ya que proporciona una mayor calidad del aire en el interior al tratarse de una ventilación constante. Filtra el 90% de los pólenes y de las partículas nocivas que se puedan encontrar en el aire. Permite una elevada hermeticidad de la envolvente y presenta ventajas como la reducción del ruido de ventilación y evita la entrada de contaminantes. Se compone por un recuperador de calor con dos ventiladores y filtro de aire y conductos de admisión y de extracción.

Ventilación natural cruzada

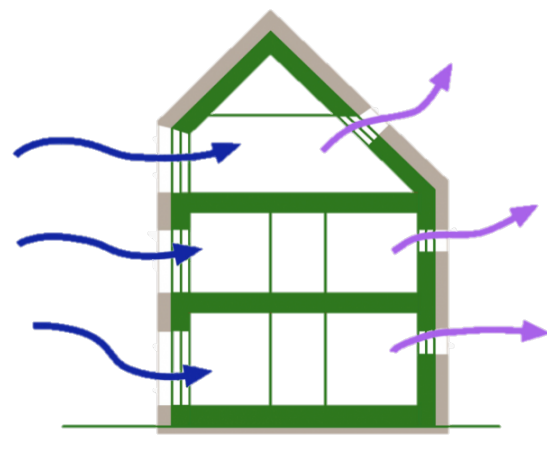


Figura 3.11 Criterio de ventilación natural cruzada. Fuente: Micheel Wassouf, (2014), De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos, Barcelona, España: Gustavo Gil SL. [37]

La ventilación natural resulta crucial para los edificios Passivhaus en zonas cálidas. Durante el verano, la ventilación natural nocturna resulta muy eficaz para disipar el calor absorbido durante el día. Este tipo de ventilación resulta más favorable en zonas climáticas donde las temperaturas nocturnas descienden considerablemente con respecto a las temperaturas durante el día. Sin embargo, en zonas con noches cálidas y aire húmedo, el potencial de este tipo de ventilación disminuye notablemente.

3.4.4. Certificación Passivhaus

La definición oficial del estándar es “ Un edificio pasivo es aquel que puede garantizar el confort climático suministrando la energía para la calefacción y/o refrigeración solo a través del aire de la ventilación. Este caudal de ventilación es el mínimo necesario para garantizar la higiene de las estancias interiores. (30 m³/h por persona en uso residencial)”. (Micheel Wassouf, (2014), *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos*, Barcelona, España: Gustavo Gil SL (pág. 69)).



Figura 3.12 Criterios generales de certificación Passivhaus. Fuente: <http://www.plataforma-pep.org>. [24]

Para cumplir con la certificación Passivhaus es preciso cumplir con los cuatro criterios mostrados

en la Figura 3.12, así como otros indirectos mostrados en la siguiente.

			Criterios ¹	Criterios alternativos ²	
Calefacción					
Demanda de calefacción	[kWh/(m²a)]	≤	15	-	
Carga de calefacción ³	[W/m²]	≤	-	10	
Refrigeración					
Demanda refrigeración + deshum.	[kWh/(m²a)]	≤	15 + contribución deshumidificación ⁴	valor límite variable ⁵	
Carga de refrigeración ⁶	[W/m²]	≤	-	10	
Hermeticidad					
Resultado ensayo de presión n ₅₀	[1/h]	≤	0,6		
Energía Primaria Renovable (PER)⁷					
			Classic	Plus	Premium
Demanda PER ⁸	[kWh/(m²a)]	≤	60	45	30
Generación de energía renovable ⁹ (con referencia a la huella proyectada del edificio)	[kWh/(m²a)]	≥	-	60	120
			±15 kWh/(m²a) desviación respecto a los criterios... ...con compensación de la desviación mostrada arriba mediante diferentes valores de generación		

Figura 3.13 Criterios generales e indirectos de certificación Passivhaus. Fuente: <http://www.plataforma-pep.org>. [24]

Las cargas de calefacción y refrigeración son criterios ligados a las demandas de calefacción y refrigeración respectivamente. La limitación a 10W/m² es fundamental para no sobredimensionar los sistemas de climatización conectados al sistema de ventilación, ya que la esencia de Passivhaus es conseguir calefactar y refrigerar la vivienda a través del mismo aire de ventilación, sin necesidad de sobredimensionar este sistema, y esto se consigue precisamente mediante cargas de calefacción y refrigeración muy bajas.

Como se ha mencionado anteriormente, la hermeticidad de la vivienda tiene que superar el test de Blower-Door obteniendo un resultado, como máximo, de 0,6 renovaciones por hora. Otro criterio a considerar, es la demanda de energía primaria requerida para abastecer la vivienda. Esta puede tomar como valor máximo 120 kWh/m²año, y en ella se considera tanto el consumo de calefacción, refrigeración, producción de ACS y electricidad.

Por último, en función de la demanda de energía primaria renovable (PER) y de la generación de energía renovable, la vivienda podrá ser certificada como Casa Pasiva Classic, Casa Pasiva Plus o Casa Pasiva Premium.

Para conseguir la certificación Passivhaus de una vivienda, ya sea de obra nueva o rehabilitada (se siguen otros criterios no mencionados en este trabajo), un técnico del Passive House Institute deberá verificar, durante la fase de proyecto y de obra, el cumplimiento de los requisitos establecidos. El diseño de la vivienda deberá realizarse desde su inicio, mediante el software distribuido por el mismo Passive House Institute, para garantizar el correcto dimensionado y funcionamiento de la casa una vez esta esté terminada. Una vez verificados, este será el encargado de enviar la documentación necesaria a una entidad certificadora para conseguir el certificado del edificio.

En definitiva, se trata de un estándar de certificación de carácter voluntario, que tiene como base los criterios de la arquitectura popular; orientaciones, sombreamientos, reflectividad de los

materiales de la fachada, compacidad. Y a estos criterios populares, se le suman los específicos del estándar alemán; ventilación mecánica controlada con recuperación de calor, aislamiento térmico, hermeticidad, inercia térmica, ausencia de puentes térmicos, altas prestaciones en ventanas y puertas y ventilación natural cruzada en verano. Es compatible con los sistemas constructivos actuales, de la misma manera que también lo es con los sistemas de calefacción y refrigeración. Incorpora criterios de ecología y sostenibilidad, así como son la reutilización de las aguas pluviales o el uso de sistemas de producción de energías renovables. Es decir, siempre y cuando se cumplan con los criterios generales e indirectos de certificación, se pueden incorporar aquellos sistemas que contribuyan a la eficiencia energética de la vivienda.

4. Metodología

La metodología a seguir para conseguir los objetivos establecidos en el apartado 2 *Objetivos y abasto del trabajo*, es la expuesta a continuación:

- Aplicación práctica de los criterios de arquitectura bioclimática y del estándar Passivhaus en una vivienda teórica ubicada en Ibiza.
 - o Componentes de la vivienda
 - o Criterios de la arquitectura bioclimática
 - o Criterios Passivhaus
 - o Criterios generales de certificación
- Diseño de las instalaciones de la vivienda cumpliendo con la normativa española vigente.
 - o Ventilación
 - o Climatización
 - o Suministro de agua
 - o Saneamiento
 - o Electricidad.
- Cumplimiento de la normativa actual referente a la exigencia energética en la edificación.
 - o DB-HE 0 Limitación del consumo energético
 - o DB-HE 1 Limitación de la demanda energética
 - o DB-HE 4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria
- Abastecimiento energético de la vivienda mediante energía solar.
- Impacto ambiental; evaluando las emisiones de CO₂ producidas por una vivienda siguiendo el estándar Passivhaus, y una sin seguir dicho estándar.
- Conclusiones finales.
- Presupuesto de la vivienda diseñada mediante los criterios bioclimáticos y Passivhaus.

4.1. Software utilizado

Para el desarrollo del trabajo se utilizan diferentes programas:

- AutoCAD versión 2015 para el diseño en 2D de la vivienda , así como las instalaciones de la misma.
- Programa de Planificación Passivhaus (PHPP) con el que se planifica y simula la vivienda sostenible, y mediante el cual se consigue la minimización del consumo de energía final y primaria.
- PVsyst para la simulación de la instalación fotovoltaica de la vivienda.
- EXCEL 2016 para el cálculo de las instalaciones interiores de la vivienda, el abastecimiento energético mediante energía solar, y análisis económico.

5. Desarrollo de la vivienda bioclimática

5.1. Características del emplazamiento

5.1.1. Situación geográfica

La vivienda objeto de estudio se ubica teóricamente en la isla de Ibiza, perteneciente a la comunidad autónoma de las Islas Baleares. La ubicación responde a una motivación personal, puesto que es de donde soy, y donde me gustaría asentarme con una vivienda de estas características.

La situación exacta es al norte de la isla, en el pueblo de *Sant Miquel de Balansat*, ubicado en el municipio de *Sant Joan de La Britja*. Concretamente en las coordenadas 39.066287, 1.460523. El número de referencia catastral es 07050A002000860000OD. La finca recibe el nombre de *Cas Matà*, así que la vivienda se llamará igual.

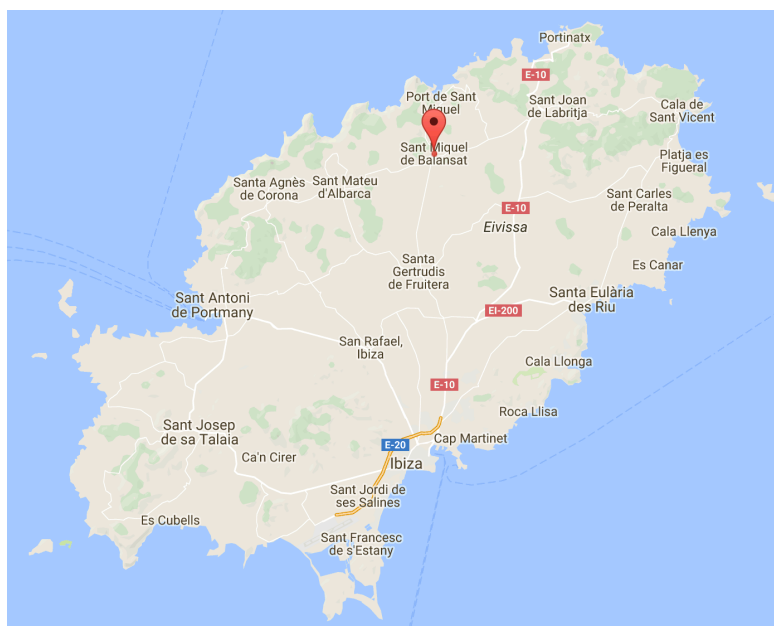


Figura 5.1 Ubicación de Sant Miquel de Balansat en el mapa de Ibiza. Fuente: Google Maps [13].

Se trata de una parcela de una superficie de 42.223 m² de suelo rústico, delimitada por la línea azul en la Figura 5.2. La ubicación de la vivienda dentro de la parcela, será la indicada mediante el rectángulo de color rojo. Se orientará mirando completamente al sur, para aprovechar al máximo el recurso solar de la isla.

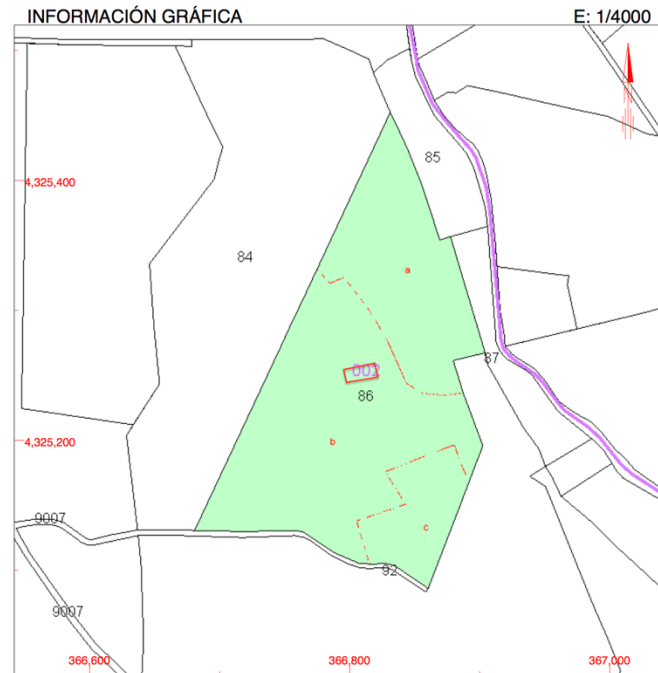


Figura 5.2 Parcela en la que se ubica la vivienda. Fuente: Catastro. [32]

5.1.2. Datos climáticos

La isla ibicenca no destaca por la presencia de viento, sino por la elevada irradiación. Es por este motivo que el recurso eólico no será contemplado como posible solución en el abastecimiento energético de la casa. Se considera únicamente el recurso solar para satisfacer las necesidades de la vivienda.

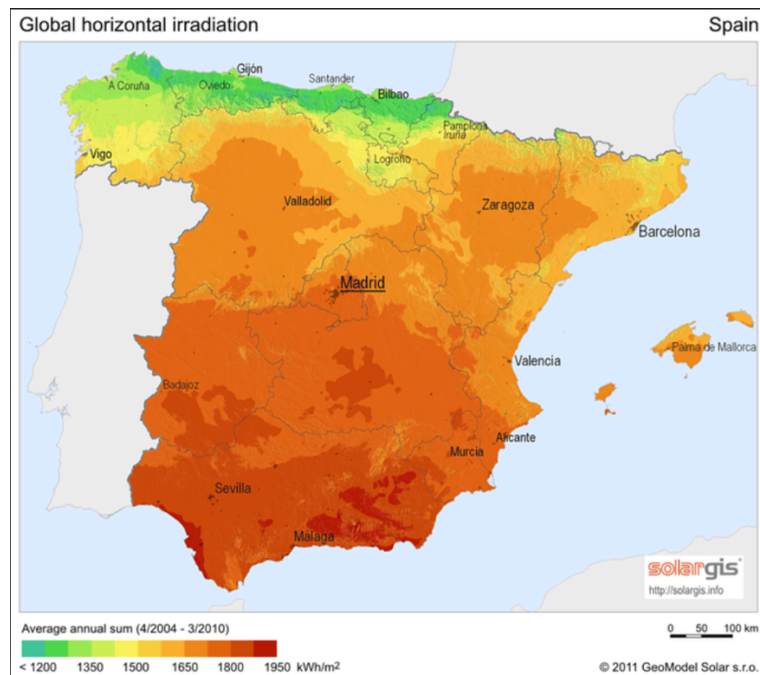


Figura 5.3 Irradiación global horizontal. Fuente: Solargis.[39]

Los datos climáticos utilizados en el PHPP para realizar la simulación estática de la vivienda y determinar sus necesidades energéticas, son los proporcionados por el fichero climático oficial de Plama de Mallorca del Passive House Institute, al que se le ha corregido la diferencia de altura de la estación meteorológica respecto de la ubicación de Cas Matà. Estos datos los lleva incorporados el mismo programa.

Para el dimensionado del campo solar, se han utilizados los ficheros de la web *PVGIS* [26], en la que son introducidos las coordenadas y el ángulo en el que se quiere obtener la irradiación mensual, y genera un fichero proporcionando la información solicitada.

5.1.3. Vegetación



Figura 5.4 Vegetación en parcela. Fuente: Google Maps.[13]

Al ser una finca en la que antiguamente se cultivaban alimentos, y actualmente se hace un mantenimiento anual; se labra para evitar el nacimiento de plantas indeseadas, en la Figura 5.4 se observa una parcela limpia de árboles. Es decir, la existencia de elementos de sobra para las placas fotovoltaicas serán mas bien nulas. Los pocos árboles que se observan, son pinos y algarrobos. Como se ve en la imagen, el conjunto boscoso de pinos no afectará a la vivienda, ya que esta se situará alejada de ellos.

5.2. Diseño de la vivienda según el estándar Passivhaus

A continuación, los criterios del estándar Passivhaus serán puestos en práctica para diseñar la vivienda objeto de este trabajo.

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, la arquitectura Passivhaus parte de una base arquitectónica tradicional, en la que los conceptos pasivos y bioclimáticas ya eran considerados. A demás de estos, se le suman una serie de criterios específicos que componen el estándar en su totalidad.

El cumplimiento del estándar conlleva la realización estricta y rigurosa de los criterios específicos del estándar, exigiendo pues, un elevado grado de especialización en el mismo. Se opta por poner en práctica unos criterios determinados, partiendo de unas consideraciones tomadas como ciertas, que permitirán alcanzar un resultado representativo sobre el estándar, y así obtener las conclusiones pertinentes sobre su puesta en práctica. Los criterios puestos en práctica son:

- Criterios de arquitectura pasiva: orientaciones, compacidad y reflectividad.
- Criterios Passivhaus:
 - o Aislamiento térmico y ausencia de puentes térmicos, esta última se toma como consideración cierta, es decir, la vivienda estará exenta de puentes térmicos.
 - o Inercia térmica y ventilación natural cruzada.
 - o Hermeticidad. Alta calidad de ventanas y puertas.
 - o Ventilación con recuperador de calor.
- Criterios generales de certificación:
 - o Demandas de calefacción y refrigeración $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{año}$
 - o Cargas de calefacción y refrigeración $\leq 10 \text{ W/ m}^2$
 - o Consumo de energía primaria para calefacción, refrigeración, ACS y electricidad $\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{año}$
 - o Hermeticidad al paso del aire $\leq 0,6$ renovaciones/hora. Se toma también como consideración cierta ya que se evalúa una vez la vivienda está construida.

5.2.1. Descripción arquitectónica de la vivienda

La vivienda diseñada consiste en una vivienda aislada, en la parcela mencionada en el apartado 5.1 *Características del emplazamiento*. Consiste en una edificación de una sola altura, que ocupa una superficie total de $232,66 \text{ m}^2$, siendo su superficie útil de $184,24 \text{ m}^2$. La altura interior de la vivienda asciende a 2,8 metros, mientras que la exterior es de 4,3 m. Es decir, que el volumen total que ocupa es de $1001,44 \text{ m}^3$.

La vivienda se compone de cuatro habitaciones, un vestidor, tres baños, un estudio, un salón-comedor, una cocina, el pasillo distribuidor, un cuarto técnico y una terraza parcialmente cubierta.

La cubierta se destina a la instalación de los paneles fotovoltaicos. Anexo a la vivienda se encuentra una pequeña caseta en la que se ubican los reguladores, inversores y baterías que proporcionarán la energía a la vivienda en las condiciones deseadas, así como los depósitos de acumulación

necesarios (esta caseta no se dimensiona en el presente trabajo, solo se da constancia de ella).

Las estancias que componen la casa y sus superficies útiles son las mostradas en la Tabla 5.1. y en el plano adjunto a continuación.

Tabla 5.1 Superficies a acondicionar. Fuente: elaboración propia.

PLANTA	HABITACIÓN	SUP. (m ²)
PB	Hab. 1	20,75
	Vestidor	10,56
	Baño 1	6,28
	Hab. 2	12,31
	Baño 2	7,59
	Hab. 3	15,79
	Baño 3	7,59
	Hab. 4	14,73
	Estudio	9
	Cocina	14,21
	Salón-Comedor	39,69
	Cuarto técnico	6,42
	Estudio	9
	Distribuidor	22,71
	Entrada	5,69
	Totales	184,24

5.2.2. Plano superficies útiles vivienda

5.2.3. Criterios de arquitectura bioclimática o pasiva

La arquitectura pasiva o bioclimática es la base de toda edificación Passivhaus. Los criterios considerados en la vivienda objeto son los siguientes:

Orientación y protección solar

Las zonas en las que se suele pasar el día están ubicadas a la zona sur de la vivienda, y las habitaciones, baños y garajes, a la zona norte. Con esta distribución se pretende garantizar el aporte calorífico necesario en las zonas donde la ocupación es mayor.

Las fachadas situadas al sur, disponen de grandes ventanales para poder captar la energía del sol a través de ellos. Sin embargo, al estar en un clima mediterráneo en el que los veranos tienden a ser calurosos, son necesarias protecciones que prohíban el paso del este durante la época estival, y permitan la entrada del mismo durante la invernal, cuando la inclinación del sol es más baja. Como protección en esta fachada, se utiliza un porche formado con vigas de madera espaciadas entre ellas. Sobre setas vigas, se ubicarán las hojas de una planta de hoja caduca que garantice la sombra en verano gracias a su follaje, y la entrada de sol en invierno, debido a la pérdida de estas durante la época fría. Hay tres grandes ventanales, dos situados en el salón-comedor y uno en una habitación, que no dispondrán de persianas de tela para su protección, y dos ventanas que estarán equipadas persianas enrollables de láminas horizontales.

La fachada norte no dispone de muchos huecos, y los que tiene son de pequeñas dimensiones. En esta se encuentran tres ventanas, dos de las cuales pertenecen a los baños, y la restante a una habitación. Las ventanas ubicados al norte, no requieren de elementos de protección, sin embargo la ventana de la habitación está equipada con una persiana enrollable de lamas horizontales, para evitar que la luz entre en los períodos de descanso.

En las fachadas este y oeste tampoco se encuentran gran cantidad de huecos. Las ventanas pertenecientes al baño y cuarto técnico, no dispondrán de protección contra el sol, en cambio las pertenecientes a las habitaciones y cocina, sí.

5.2.4. Plano alzados



Compacidad

La compacidad no es un criterio determinante en la vivienda, sino uno más a considerar. Sin embargo, es cierto que cuanto menor sea la relación entre la superficie y el volumen que la encierra, mayor será la compacidad. Para un volumen de edificio, si se consigue una menor superficie de envolvente, se garantiza una menor pérdida o ganancia energética a través de esta.

Tabla 5.2 Superficies exteriores de la vivienda. Fuente: elaboración propia.

	Superficie (m ²)
Fachada norte	80,32
Fachada sur	80,32
Fachada este	57,96
Fachada oeste	57,96
Solera	255,03
Cubierta	232,66
TOTAL	764,25

El volumen total de la vivienda, se determina mediante la superficie de la cubierta y la altura del edificio, 4,3 m.

La compacidad de la vivienda es de 0,76 m⁻¹, es decir que se trata de una vivienda con una compacidad más bien baja. Aun así, las viviendas unifamiliares tienden a obtener valores entre 0,6-1 m⁻¹ [37], por lo que Cas Matà entra dentro de este rango.

$$Compacidad = \frac{Superficie (m^2)}{Volumen (m^3)} = \frac{764,25}{1001,44} = 0,76 m^{-1} \quad (Ec. 5.1)$$

Reflectividad

Las casas ibicencas se caracterizan desde el pasado, por el uso de cal en sus fachadas para aislarlas del sol de verano. En el caso de Cas Matà, se sigue la misma metodología; la vivienda estará recubierta por un mortero de revoco de cal que impedirá la absorción de radiación solar en verano, y por tanto minimizará la carga de refrigeración.

Analizados los tres criterios bioclimáticos, se puede concluir diciendo que se cumplen de manera satisfactoria dos de los tres planteados. El que no llega a cumplir con las expectativas, la compacidad, se queda a medio camino obteniendo un resultado medianamente aceptable.

5.2.5. Criterios Passivhaus

Aislamiento térmico y ausencia de puentes térmicos

La solución adoptada para aislar térmicamente la vivienda es el uso de fibra de madera y placas de corcho. Las transmitancias térmicas son respectivamente de 0,038 W/mK y 0,040 W/mK. Los

espesores varían de 30 mm a 200 mm, en función del cerramiento en el que estén situados.

Las transmitancias térmicas de cada uno de estos elementos constructivos son:

- $U_{\text{fachada}} = 0,323 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{\text{solera}} = 0,189 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{\text{cubierta}} = 0,180 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{\text{p.interior}} = 0,294 \text{ W/m}^2\text{K}$

Y han sido obtenidas mediante el uso de los siguientes materiales.

Nr. elem. cons.	Denominación de elemento constructivo	¿Aislamiento interior?				
1	Muro exterior portante	<input type="checkbox"/>				
Resistencia térmica superficial [m²K/W]						
interior R_{si} : 0,13						
exterior R_{se} : 0,04						
Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 2 (opcional)	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 3 (opcional)	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Placa carón-yeso	0,210					15
2. Placa de corcho	0,040					30
3. Muro de ladrillo	1,270					270
4. Fibra de madera steicoflex	0,038					40
5. Placa de corcho	0,040	Mortero adherente	0,240			30
6. Revoque de cal	0,055					10
7.						
8.						
Porcentaje superficie parcial 1		Porcentaje superficie parcial 2		Porcentaje superficie parcial 3		Total
95%		5,0%				39,5 cm
Suplemento al valor-U:		Valor-U:		0,323		W/(m²K)

Figura 5.5 Materiales muro exterior portante. Fuente: PHPP-Cas Matà; elaboración propia.

Nr. elem. cons.	Denominación de elemento constructivo	¿Aislamiento interior?				
2	Techo	<input type="checkbox"/>				
Resistencia térmica superficial [m²K/W]						
interior R_{si} : 0,10						
exterior R_{se} : 0,04						
Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 2 (opcional)	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 3 (opcional)	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]
1. Placa carón-yeso	0,210					15
2. Espacio aire						200
3. Placa de corcho	0,040					30
4. Fibra de madera steicoflex	0,038	Viga madera I	0,374			200
5. Placa de corcho	0,040					40
6. Fibra de madera steicouni	0,049					52
7. Placa de corcho	0,040	Mortero adherente				70
8. Revoque de cal	0,055	Geotextil + Capa EPDM				10
Porcentaje superficie parcial 1		Porcentaje superficie parcial 2		Porcentaje superficie parcial 3		Total
5%		95,0%				61,7 cm
Suplemento al valor-U:		Valor-U:		0,180		W/(m²K)

Figura 5.6 Materiales cubierta. Fuente: PHPP-Cas Matà; elaboración propia.

Nr. elem. cons.	Denominación de elemento constructivo					¿Aislamiento interior?	
3	Suelo					<input checked="" type="checkbox"/>	
Resistencia térmica superficial [m²K/W]		interior R _{se} :		0,17			
		exterior R _{se} :		0,00			
Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 2 (opcional)	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 3 (opcional)	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]	
1. Pavimento interior	0,150					15	
2. Mortero	1,000					45	
3. Suelo radiante/refrescante	0,050					50	
4. Losa hormigón armado HA25	2,100					200	
5. Placa corcho	0,040					50	
6. Fibra de madera steicoflex	0,038					100	
7. Lamina geotextil + Capa EPDM							
8. Gravathormigón limpeiza							
Porcentaje superficie parcial 1		Porcentaje superficie parcial 2		Porcentaje superficie parcial 3		Total	
100%						46,0 cm	
Suplemento al valor-U		W/(m²K)		Valor-U:		0,189 W/(m²K)	

Figura 5.7 Materiales solera. Fuente: PHPP-Cas Matà; elaboración propia.

Nr. elem. cons.	Denominación de elemento constructivo					¿Aislamiento interior?	
5	Muro interior divisorio					<input checked="" type="checkbox"/>	
Resistencia térmica superficial [m²K/W]		interior R _{se} :		0,13			
		exterior R _{se} :		0,13			
Superficie parcial 1	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 2 (opcional)	λ [W/(mK)]	Superficie parcial 3 (opcional)	λ [W/(mK)]	Espesor [mm]	
1. Placa carón-yeso	0,210					15	
2. Placa corcho	0,040	Viga de madera	0,374			120	
3. Placa carón-yeso	0,210					15	
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
Porcentaje superficie parcial 1		Porcentaje superficie parcial 2		Porcentaje superficie parcial 3		Total	
100%						15,0 cm	
Suplemento al valor-U		W/(m²K)		Valor-U:		0,294 W/(m²K)	

Figura 5.8 Materiales muro divisorio interior. Fuente: PHPP-Cas Matà; elaboración propia.

Se ha considerado una estructura libre de puentes térmicos; se garantiza con la continuidad en toda la superficie de la fibra de madera y de las placas de corcho, a demás de una construcción cuidadosa y una envolvente continua, asegurando el funcionamiento de la “regla del rotulador”.

Entre las carpinterías y el aislante, la continuidad se asegura mediante el uso de una cinta estanca que realiza la unión entre ambos, sin dejar paso a posibles infiltraciones indeseadas.

En el plano mostrado a continuación, se grafica la línea continua del rotulador en color rojo que garantiza la continuidad de la envolvente térmica, así como la azul que remarca la estanqueidad de los mismos cerramientos. Esta estanqueidad se consigue gracias al uso de la placa de corcho, elemento transpirable, pero que no deja pasar la humedad hacia el interior de la estructura.

5.2.6. Plano “regla del rotulador”

Inercia térmica y ventilación natural cruzada

La inercia térmica es la capacidad de los elementos constructivos de almacenar energía hasta el punto de saturación, e invertir el flujo energético liberando esta energía hacia el aire una vez llegado a este punto.

La vivienda cuenta con una estructura formada por muros portantes con bloques cerámicos de 27 cm y protegidos por la fibra de madera y las placas de corcho, el forjado es unidireccional compuesto por vigas de madera, y la solera de hormigón armado. Es por tanto una construcción con elevada inercia térmica.

La ventilación cruzada en verano, complementa satisfactoriamente la liberación de la energía almacenada en los elementos constructivos, favoreciendo la reducción del consumo de refrigeración en esta época del año.

La resultado de la ventilación cruzada en la vivienda no es demasiado satisfactorio, ya que la distribución de las estancias no ayuda a esta ventilación natural. De todas formas hay 3 vías diferentes por las cuales esta se podría llevar a cabo:

- De la ventana del pasillo hacia la Habitación 2 y Haño2.
- De la puerta de entrada hacia el Salón-comedor y Cocina.
- Del Salón-comedor hacia el Baño 3.

Hermeticidad y elevadas prestaciones en ventanas y puertas.

Una buena hermeticidad garantiza que en un edificio las infiltraciones de aire procedentes del exterior sean mínimas. El estándar fija la hermeticidad en un valor máximo de 0,6 renovaciones por hora. Este valor se determina mediante el test de Blower Door una vez la estructura de la casa está terminada, así como los cerramientos de ventanas y puertas exteriores.

Claro está, que para conseguir tal elevada hermeticidad los detalles constructivos juegan un papel muy importante, así como también las calidades en puertas y ventanas utilizadas. Es por eso que los elementos utilizados son ventanas y puertas certificadas por el Passive House Institute.

Las ventanas utilizadas son de la casa WERU, [4] el modelo Jamboline Unilux Clima-Protect en madera-aluminio para los grandes ventanales con puertas correderas ubicados en una de las habitaciones y el salón-comedor, con un valor g de 0,6 y un coeficiente U de ventana de 0,83 W/m²K. Y, para el resto de las ventanas, se utiliza el modelo Weru KlimaTherm 4/12A/4/12A de triple vidrio termoaislante con insuflación de gas argón y distanciadores de aluminio con una baja transmisión térmica lineal, el valor g es de 0,5 y el coeficiente U de la venta de 0,87 W/m²K.

Las dos puertas de entrada, la de la vivienda y la del cuarto técnico, son de fibra reforzada, con U = 0,47 W/m²K y espesor de 100 mm.

La evaluación de la hermeticidad del aire, se realiza una vez la vivienda está terminada. Al no disponer de herramientas que permitan cuantificar dicho valor para la vivienda objeto, el uso de

ventanas y puertas certificadas por el Passive House Institute, y un exhaustivo control de la obra, hace posible dar como valor de hermeticidad las 0,6 renovaciones por hora máximas establecidas por el estándar.

Ventilación con recuperador de calor.

La ventilación con recuperador de calor permite intercambiar la energía del aire de extracción con el aire de admisión para conseguir mantener la temperatura interior, y así reducir las cargas de calefacción y refrigeración.

De la misma manera que plantea el CTE, la admisión del aire se realiza en estancias secas (habitación, salón, estudio), y la extracción en zonas húmedas (baños, aseos y cocinas). En el estándar es esencial el uso del recuperador de calor, elemento del que carece la normativa española. A través de este se cruzan ambos aires, admitido y extraído, sin mezclarse, haciendo posible la recuperación de calor que es transportada en el aire de extracción, y cediéndola al aire limpio introducido, consiguiendo minimizar así las demandas de climatización.

El clima en el que se sitúa la vivienda es muy húmedo, por lo tanto en este caso, es necesario un deshumectador por el que pasará el aire de impulsión para que este sea tratado. Los componentes utilizados para la ventilación y climatización, son explicados en el 6 *Diseño de instalaciones*, así como los conductos utilizados para transportar el fluido.

La ventilación con recuperador de calor, es el elemento clave para disminuir la demanda energética de una vivienda. Como se ha analizado en el 3 *Contexto*, el elemento más consumidor de una vivienda es la climatización, consecuencia directa de las bajas calidades de las que disponen las edificaciones existentes. Claro está, que esta reducción se consigue también gracias a un buen aislante térmico y una envolvente hermética. Garantizando el cumplimiento de estos conceptos, así como una orientación adecuada, las necesidades energética se ven reducidas considerablemente, siendo esta reducción de hasta un 75% [24] para la calefacción y refrigeración.

5.2.7. Criterios generales de certificación

La evaluación de los cuatro criterios de certificación del estándar han sido determinados mediante el Programa de Planificación del Passivhaus (PHPP). Gracias a la simulación que este realiza, se obtienen de forma directa los valores de demanda de calefacción y refrigeración, las cargas de las mismas, y el consumo de energía primaria no renovable para dichas demandas de climatización, producción de ACS, iluminación y electricidad doméstica y auxiliar. Los resultados obtenidos son los expuestos a continuación.

La cumplimentación de la hermeticidad al paso del aire ha sido considerada como válida en el apartado anterior debido al uso de elementos ya certificados por el mismo instituto.

Para la obtención del resto de resultados, es necesario introducir los conceptos que solicita el PHPP. Se empieza seleccionando la ubicación de la vivienda, se introduce la capital de provincia correspondiente, en este caso Palma de Mallorca, y se corrige su altura respecto la ubicación estudiada. A continuación se determinan los valores de transmitancia térmicas de sus elementos

constructivos; especifican los espesores de cada material utilizado en el cerramiento en cuestión así como su transmitancia térmica. En función de estos valores y las resistencias térmicas superficiales, se obtiene el valor de transmitancia térmica del cerramiento analizado. Seguidamente se especifican las superficies; fachadas, solera y cubierta, que delimitan la vivienda. Con estos valores, juntamente con el clima, se pueden calcular las pérdidas a través del terreno.

Se detallan las ventanas a utilizar, los cristales y marcos, cumpliendo con los criterios del estándar, así como la máquina recuperadora de calor a utilizar para la ventilación. Es necesario especificar también, los huecos de las ventanas, y los posibles sombreamientos que estas puedan tener. Finalmente se introduce el valor de hermeticidad obtenido mediante el Test de Blower Door, así como la maquinaria, y conductos a utilizar.

Una vez introducidos estos datos, el programa calcula la demanda de calefacción y refrigeración, y sus cargas térmicas respectivas. Los resultados de estas en la simulación de Cas Matà, cumplen con los valores límite establecidos por el criterio, obteniendo valores de 6,5 kWh/m²año para la calefacción y de 4,3 kWh/m²año para la refrigeración. También se cumplen los criterios de cargas de calefacción y refrigeración, siendo 9,2 W/m² y 6,5 W/m² respectivamente. La explicación de estos dos conceptos y su cálculo, se realiza de manera detallada en el apartado de *6.2 Sistemas de ventilación y climatización* del *6 Diseño de instalaciones*.

Seguidamente deben ser introducidos los datos de instalaciones solares, en caso de que las haya, y los datos referentes a la distribución del ACS y de la calefacción; se introducen longitudes de conductos, grosores de aislamiento, depósito de acumulación, temperaturas de circulación, etc. También se especifica la demanda de electricidad y la demanda de electricidad auxiliar, esta última considera los consumos de electricidad que son necesarios para poner en funcionamiento y controlar las instalaciones de calefacción, ventilación, refrigeración, instalaciones solares y de suministro de ACS. Por último, se especifican las características técnicas de la tecnología utilizada para el suministro de agua caliente sanitaria y para el agua caliente de la calefacción, en este caso bomba de calor aire-agua. Con todos estos datos, el programa calcula la demanda de energía primaria para abastecer la vivienda, el consumo final de energía y la producción de kg de CO₂ equivalentes.

Valores característicos del edificio con relación a la superficie de referencia energética y año				
	Superficie de referencia energética	184,2 m ²		
Calefacción	Demanda de calefacción	6 kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)	¿Cumplido?*
	Carga de calefacción	9 W/m ²	10 W/m ²	¿Cumplido?*
Refrigeración	Demanda total refrigeración	14 kWh/(m ² a)	19 kWh/(m ² a)	¿Cumplido?*
	Carga de refrigeración	7 W/m ²	-	-
	Frecuencia de sobrecalentamiento (> 25 °C)	%	-	-
Energía primaria	Calef., ref., deshum., ACS, elect. auxiliar, ilum., aparatos elect.	122 kWh/(m ² a)	120 kWh/(m ² a)	¿Cumplido?*
	ACS, calefacción y electricidad auxiliar	64 kWh/(m ² a)	-	-
	Ahorro de EP a través de electricidad solar	159 kWh/(m ² a)	-	-
Hermeticidad	Resultado ensayo de presión n ₅₀	0,6 1/h	0,6 1/h	¿Cumplido?*
* Campo vacío: faltan datos; '-': sin requerimiento				
Passivhaus?				no

Figura 5.9 Cumplimiento del estándar Passivhaus. Fuente: PHPP-Cas Matà; elaboración propia.

La Figura 5.9 muestra los resultados obtenidos con el programa. La vivienda se queda a las puertas de cumplir con el estándar, ya que no satisface el criterio obligatorio de demanda de energía primaria menor o igual a 120 kWh/m²año, sobrepasa dicho valor por 2 kWh/m²año. De todas formas, aún no cumpliendo con el estándar, si que consigue satisfacer el resto de los criterios, por lo que se pueden evaluar positivamente las decisiones tomadas para la proyección de la vivienda, tanto a materiales de construcción, como cerramientos de ventanas y puertas, y maquinaria de ventilación, climatización y suministro de agua caliente sanitaria.

Cabe destacar que el completo aporte energético para la vivienda provendrá de fuentes renovables, y su estudio se realiza al final del documento.

5.3. Materiales de construcción

Para conseguir los bajos valores de transmitancias térmicas en fachada, solera y cubierta explicados con anterioridad, los materiales utilizados han sido seleccionados en primer lugar por sus comportamientos térmicos, y en segundo, por su naturaleza. Es decir, han sido seleccionados en función de qué bien cumplen con los requerimientos deseados, y en función de qué ecológicos son.

La fibra de madera es un material con unas propiedades extraordinarias para el aislamiento térmico. En función del cerramiento en el que se encuentra se utiliza un grosor u otro, e incluso una tipología de fibra de madera u otra. La fibra de madera seleccionada es de la casa STEICO; estas destacan por su calidad y por ser respetuosas con el medio ambiente, las materias primas naturales contribuyen no solo a una construcción duradera y segura, sino también a un elevado bienestar en la vivienda.

En la fachada la tipología utilizada es la STEICOflex con un espesor de 40 mm. Esta es flexible y comprimible y abierta a la difusión de vapor de agua para asegurar un interior sano. Apta para el uso en paredes, suelos y techos, es por eso que se utiliza también en los dos restantes. En el suelo su grosor es de 100 mm, para asegurar un buen aislante del terreno, y en el techo de 200 mm, ya que es por el cerramiento donde se realizan más pérdidas energéticas y a la vez más ganancias, debido a su exposición constante al exterior.

En el techo también se encontrará la STEICOuniversal con un espesor de 52 mm. En este caso se trata de un panel rígido machihembrado, muy eficaz contra el viento y las humedades.

Las placas de corcho utilizadas, han sido tratadas mediante un proceso térmico de tostado. Gracias a este, no es necesario ningún químico para realizar el aglutinamiento del material y formar dichas placas. La función natural del corcho es proteger las partes vivas del árbol que lo genera, aislándolo así del frío y al mismo tiempo, permitiendo la transpiración entre las superficies aisladas facilitando el intercambio gaseoso, sin perder aislamiento, y evitando la aparición de condensaciones. Además es muy utilizado como aislante acústico, ya que actúa como amortiguador en la transmisión de ondas sonoras. Al tratarse de un material completamente natural, se puede reutilizar completamente, independientemente de los años pasados desde su fabricación.

Las placas de corcho se han utilizado tanto en fachada como suelo y cubierta. En fachada su espesor es de 30 mm, y se utiliza tanto en el interior como en el exterior del muro. En el caso de la cubierta, el aislamiento es de 30 mm y de 70 mm, y en suelo de 50 mm.

Además de estos materiales utilizados como aislantes térmicos y estancos, se han utilizado unos bloques cerámicos, *cerámica fanelli klimablock*, para la construcción de la estructura con una excelente condición aislante. Éstos optimizan la aislación húmeda, térmica y acústica.

Con la utilización de estos materiales, así como la cinta de estanqueidad utilizada para asegurar uniones de estos, o los encuentros entre ventanas y aislamientos, se consiguen las transmitancias térmicas que hacen posible la obtención de una vivienda que casi cumpla con el estándar Passivhaus.

La cubierta se sustenta gracias a vigas de madera. Estas se colocan unidireccionalmente sobre los muros portantes, y se envuelven en material aislante. El falso techo, y paredes interiores se forran de pladur, el exterior de la vivienda con mortero y revoco de cal. Tanto en la cubierta como suelo se encuentran las capas de EPDM y geotextil. Estas impermeabilizan las superficies, y evitan el crecimiento de plantas.

5.3.1. Plano materiales de construcción

5.4. Conclusiones

Una vez determinada la vivienda y su distribución, se han ido evaluando diferentes materiales modificando sus espesores para comprobar el comportamiento térmico de la vivienda. La solución final adoptada, cumple satisfactoriamente con el comportamiento térmico esperado; sus demandas de calefacción y refrigeración cumplen con los criterios impuestos por el estándar.

Los grandes ventanales ubicados a la fachada sur de Cas Matà, garantizan una baja demanda de calefacción, sin embargo, la demanda de refrigeración es más bien elevada. Esto se debe, en gran parte, a la necesidad de deshumectar la vivienda durante la época estival, aumentando así el consumo final para la refrigeración.

La vivienda no cumple con la demanda máxima permitida de energía primaria, no obstante el resultado obtenido es muy satisfactorio. Además de aprender a diseñar una vivienda bajo los criterios bioclimáticos, también he aprendido a utilizar el programa de simulación del Passive House Institute. En este me he encontrado trabas en cuanto a datos concretos de la maquinaria utilizada. Aun así, considero muy positivo el resultado final.

La implantación de este estándar como método de construcción, conlleva una rigurosa y detallada mano de obra, con el consiguiente aumento de inversión económica; materiales y trabajadores. Pero, se tiene que destacar sus beneficios principales; por un lado un confort inmejorable en la vivienda (ausencia de humedades, ausencia de puentes térmicos, ausencia de infiltraciones indeseadas), y por el otro el ahorro económico en las facturas energéticas.

Destacar también la mejora del estándar de construcción frente a la normativa vigente española en esta materia (CTE). En la española se delimitan los consumos de calefacción y refrigeración con los mismos valores que el estándar, dato positivo. También delimita el consumo de energía primaria no renovable para los servicios de calefacción, refrigeración y ACS. Sin embargo, no se consideran el resto de los consumos de la vivienda como son los electrodomésticos, consumidores del 21,7% de la energía consumida en una vivienda, tal y como se ha presentado en los datos proporcionados por el informe realizado por el IDAE con anterioridad.

Por último, las transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente expresados en las normativas obtienen valores muy superiores a los utilizados en este proyecto: transmitancia en fachadas de 1,00 W/m²K (Cas Matà 0,323 W/m²K), en cubiertas y suelos 0,65 W/m²K (Cas Matà 0,180 W/m²K y 0,189 W/m²K) y en huecos, considerados como tales vidrios y marcos de las ventanas 4,20 W/m²K (Cas Matà 1,10 W/m²K de media). Con todos estos datos se llega a la conclusión, por tanto, del elevado consumo que puede suponer una vivienda cumpliendo simplemente con el CTE; constructivamente podrá salir más económica, pero energéticamente mucho más cara, y considerando que se construye una vivienda para toda una vida, es un criterio a tener en cuenta.

6. Diseño de instalaciones

6.1. Normativa utilizada

La documentación explicada en el siguiente apartado se ha realizado teniendo en cuenta normativa vigente.

En concreto el Código Técnico de Edificación y sus Documentos Básicos; el DB HE Ahorro de energía para la determinación la contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, la limitación del consumo energético y la limitación de la demanda energética.

El DB HS Salubridad, para la calidad del aire interior y el dimensionado del sistema de ventilación, el suministro de agua y la evacuación de las mismas.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) en cuanto a aislamientos se refiere, y el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) e Instrucciones Técnicas Complementarias, para el dimensionado de la instalación de electricidad interior.

6.2. Sistemas de ventilación y climatización de la vivienda según el estándar Passivhaus

Como se ha explicado a lo largo del documento, una de las características principales para conseguir una vivienda de bajo consumo energético, es un sistema de ventilación y climatización bien dimensionado.

Una vez conseguida la estructura hermética de la vivienda, gracias a los materiales utilizados durante su construcción, así como una precisa y detallada puesta en escena, es el momento del dimensionado de los sistemas de ventilación y climatización.

Las superficies a acondicionar del edificio son las mostradas en la Tabla 5.1. La altura interior de las estancias es de 2,8 m.

Al tratarse de una vivienda, se considera que el horario de funcionamiento serán las 24 horas del día.

La temperatura que se ha establecido de confort es la considerada por el criterio Passivhaus, y es mostrada en la Tabla 6.1 para las dos estaciones del año que se han considerado:

Tabla 6.1 Temperatura interior y humedad interior para invierno y verano

	Invierno	Verano
Temperatura interior (°C)	20	25
Humedad relativa	50%	50%

6.2.1. Ventilación mecánica

Se ha previsto un sistema de ventilación mecánica de doble flujo con recuperador de calor, que se compone de una toma de aire exterior y otra de expulsión de aire viciado interior, una máquina de ventilación que incorpora un recuperador de calor entálpico, un deshumidificador y una red de conductos de distribución y expulsión de aire. Éstos se disponen en estrella, conectados por un extremo a un silenciador con placa de distribución y por el otro a la boca de impulsión o extracción instalada en la estancia correspondiente.

6.2.1.1. Demanda de ventilación

El cálculo de la aportación de aire exterior se ha realizado siguiendo dos métodos diferentes. Por un lado, según lo establecido en la normativa española, regida por el Código Técnico de la Edificación, en su documento básico DB-HS3 "Calidad del aire interior". Y por el otro, según los criterios de diseño del Passive House Institute. Se han comparado los valores obtenidos mediante ambos procesos, y finalmente se han escogido los valores del Passive House Institute para dimensionar los conductos, ya que la simulación de la vivienda en el PHPP se ha realizado con los mismos.

Para realizar un correcto dimensionado del sistema de ventilación, los valores de impulsión y extracción deben ser iguales, por lo que se procede a dimensionar los conductos con el caudal más elevado.

El dimensionado de los conductos de ventilación se ha realizado tomando como punto de partida las siguientes condiciones:

- La velocidad de cálculo del aire será de 2,5 m/s. [7]
- Al estar conectado en estrella, cada conducto transportará un caudal de 20 m³/h, consiguiendo así un sistema de distribución de sección regular.
- Las propiedades del aire utilizadas para el cálculo son las expresadas en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2 Propiedades del aire. Fuente: elaboración propia.

	Aire
ρ (kg/m ³)	1,2
T (°C)	20
μ (kg/m·s)	$1,83 \cdot 10^{-5}$
ϑ (m ² /s)	$1,56 \cdot 10^{-5}$

La Tabla 6.3 resume las demandas para cada una de las estancias de la casa:

Tabla 6.3 Resumen ventilación CTE y Passive House Institute. Fuente: elaboración propia.

PLANTA	HABITACIÓN	VOLUMEN (m ³)	CTE imp. (m ³ /h)	CTE ext. (m ³ /h)	PH imp. (m ³ /h)	PH ext. (m ³ /h)	Nº cond.imp.	Nº cond.ext.
PB	Hab. 1+Vestidor	87,67	28,8		40		2	
	Baño 1	17,58		28,8		40		2
	Hab. 2	34,47	14,4		20		1	
	Baño 2	21,25		28,8		20		1
	Hab. 3	44,21	14,4		20		1	
	Baño 3	21,25		28,8		20		1
	Hab. 4	41,24	14,4		20		1	
	Pasillo	63,59	36		20		1	
	Cocina	39,79		28,8		60		3
	Salón-Comedor	111,13	36		40		2	
	Sala Técnica	17,98		16,19		20		1
Totales		500,16	144	131,38	160	160	8	8

Con estos valores, se asegura una renovación teórica del aire de 0,32 renovaciones/hora (ya que no se consideran las posibles infiltraciones).

$$\text{Renovación/hora} = \frac{Q}{V} \quad (\text{Ec. 6.1})$$

Dónde,

Q : caudal impulsado o extraído en m³/h

V : volumen interior de la vivienda m³

Se ha previsto una máquina de ventilación con un caudal nominal de 350 m³/h, y una presión disponible en su salida de 200 Pa.

Para satisfacer los cálculos, se prevé que la máquina de ventilación trabaje al 50% de su caudal nominal. Como la máquina dispone de variadores de velocidad en sus ventiladores, permitiendo variar su caudal, también se prevé su funcionamiento en modo de mantenimiento cuando la vivienda no esté ocupada, con caudales inferiores.

La cocina dispone además de una campana extractora de recirculación equipada con filtros de carbono que garantiza una extracción de aire de 1.080 m³/h, cumpliendo con los 50 l/s mínimos establecidos por la normativa. Con este dato queda justificado el uso del mismo sistema de ventilación para la cocina y el resto de la casa.

6.2.1.2. Dimensionado de la instalación

A continuación se explica el procedimiento seguido para el cálculo de ambos conductos (impulsión y extracción).

Cálculo del diámetro de los conductos

Con los valores de velocidad y caudal determinados en el apartado anterior, se procede al cálculo del diámetro teórico para cada conducto.

$$Q = v \cdot S \quad (\text{Ec. 6.2})$$

Donde,

Q : caudal en m^3/s

v : velocidad del fluido en m/s

S : sección del conducto en m^2

El diámetro se obtiene substituyendo la ecuación 6.3 en la 6.2, y despejando éste.

$$S = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad (\text{Ec. 6.3})$$

Donde,

D : diámetro en m

En la Tabla 6.4 se muestran los valores obtenidos teóricamente, y los finalmente instalados.

Tabla 6.4 Diámetros calculados e instalados. Fuente: elaboración propia.

	Tramo		D teórico (m)	Sec. (m²)	Caudal (m³/h)	D real (mm)	Sec. (m²)	Velocidad (m/s)
	Inicio	Fin						
	IMPULSIÓN							
	0	1	0,1505	0,0178	160	160	0,020	2,210
	Silenciador		-	-	-	-	-	-
	ComfoDew		-	-	-	-	-	-
Hab. 1+Vestidor	1	2	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
	1	3	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
Hab. 2	1	4	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
Hab. 3	1	5	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
Hab. 4	1	6	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
Pasillo	1	7	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
Salón- Comedor	1	8	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
	1	9	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
	EXTRACCIÓN							
	0	1	0,1505	0,0178	160	160	0,020	2,210
	Silenciador		-	-	-	-	-	-
Baño 1	1	2	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
	1	3	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
Baño 2	1	4	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
Baño 3	1	6	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
Cocina	1	8	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
	1	9	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
	1	10	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105
Sala Técnica	1	11	0,0532	0,0022	20	80	0,005	1,105

El diámetro teórico a instalar es de 150,5 mm para el conducto general, y de 53,2 mm para los que desembocan en cada una de las estancias. Sin embargo, el finalmente utilizado en la instalación deberá ser de 160 mm para el general, y de 80 mm para el resto, ya que es el mínimo encontrado en catálogos. [3]

Pérdida de carga

El aire que circula por la red de conductos, recibe la energía de impulsión (aspiración) por medio de un ventilador. Esta energía debe ser suficiente para que el aire sea distribuido a todos los locales a acondicionar, en las condiciones previstas de caudal, temperatura y velocidad, según las condiciones de diseño.

El problema reside en el correcto diseño de los conductos, para que circule por ellos el caudal previsto, y para que la energía total proporcionada al aire sea capaz de vencer de manera equilibrada las inevitables pérdidas que se producen en todo proceso de flujo dinámico en conductos.

Estas pérdidas son de dos tipos:

- Pérdidas por rozamiento, debido a la viscosidad del fluido. Dependen de la geometría, la rugosidad interna de los conductos y el régimen de movimiento del aire. Se producen a lo largo de toda la extensión lineal del conducto, y se expresan en valores de pérdidas de la presión total por unidad de longitud del conducto considerado: (Pa/m).
- Pérdidas dinámicas, causadas por las perturbaciones de velocidad, por cambios direccionales o por variaciones bruscas de la temperatura. Estas pérdidas dinámicas, aunque se producen en toda la longitud de un conducto, a efectos prácticos se suponen localizadas en las zonas que afectan al cambio en la velocidad que se ha mencionado.

El material utilizado es acero galvanizado; con una rugosidad absoluta de $1,5 \cdot 10^{-3}$ mm.

Se produce una pérdida de carga por el paso del aire en el conducto, su valor se determina con la ecuación 6.4, [33]

$$\frac{\Delta P}{L} = f \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2 \cdot D} \quad (\text{Ec. 6.4})$$

Donde,

$\frac{\Delta P}{L}$: pérdida de carga por unidad de longitud en Pa/m

f : coeficiente de fricción (adimensional)

ρ : densidad del fluido en kg/m^3

v : velocidad del fluido en m/s

D : diámetro del conducto en m

El valor del coeficiente de fricción, se calcula iterando mediante la ecuación de Colebrook-White,

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{0,25}{\left(\log \left[\frac{\varepsilon_r}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right] \right)^2} \quad (\text{Ec. 6.5})$$

Donde,

ε_r : rugosidad relativa del material (adimensional)

D : diámetro en m

Re : reynolds (adimensional)

Estos dos términos se calculan con las ecuaciones siguientes,

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\vartheta} \quad (\text{Ec. 6.6})$$

Donde,

v : velocidad del fluido en m/s

ρ : densidad del fluido en kg/m³

D : diámetro en m

μ : viscosidad dinámica en kg/m · s

ϑ : viscosidad cinemática en m²/s

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (\text{Ec. 6.7})$$

Donde,

ε : rugosidad absoluta del material en m

D : diámetro en m

Las pérdidas dinámicas son las provocadas por los accesorios utilizados, y se determina mediante la ecuación 6.8, [33]

$$\Delta P = C \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad (\text{Ec. 6.8})$$

Donde,

ΔP : pérdida de carga en Pa

C : factor de forma de la singularidad (adimensional)

ρ : densidad del fluido en kg/m^3

v : velocidad del fluido en m/s

El factor de forma de la singularidad se calcula mediante la según,

$$C = C_o \cdot K \quad (\text{Ec. 6.9})$$

Donde C_o y K , se obtiene de las siguientes tablas:

Tabla 6.5 Valores para el cálculo de las pérdidas de carga por accesorios. Fuente: Sistema de distribución del aire. Cálculo de conductos. [33]

R/D	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50
C_o	0,71	0,33	0,22	0,15	0,13	0,12

θ	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
K	0	0,31	0,45	0,60	0,70	0,85	1,0	1,13	1,20	1,28	1,40

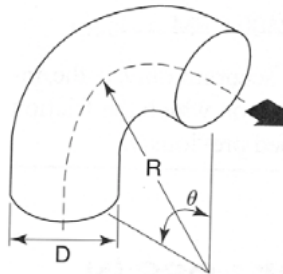


Figura 6.1 C en conducto. Fuente: Sistema de distribución del aire. Cálculo de conductos. [33]

En el caso que nos ocupa, los accesorios utilizados son codos de ángulos de 130° o superiores, y rejillas.

Tabla 6.6 Resumen de resultados de las pérdidas de carga lineales. Fuente: elaboración propia.

	Tramo		Re	f	$\frac{\Delta P}{L} (Pa/m)$
	Inicio	Fin			
	IMPULSIÓN				
	0	1	$2,27E \cdot 10^4$	0,04197	0,77
	Silenciador		-	-	-
	ComfoDew		-	-	-
Hab. 1+Vestidor	1	2	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
	1	3	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
Hab. 2	1	4	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
Hab. 3	1	5	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
Hab. 4	1	6	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
Pasillo	1	7	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
Salón-Comedor	1	8	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
	1	9	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
	EXTRACCIÓN				
	0	1	$2,27E \cdot 10^4$	0,04197	0,77
	Silenciador		-	-	-
Baño 1	1	2	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
	1	3	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
Baño 2	1	4	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
Baño 3	1	6	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
Cocina	1	8	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
	1	9	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
	1	10	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19
Sala Técnica	1	11	$5,67 \cdot 10^3$	0,02041	0,19

Tabla 6.7 Resumen pérdidas de carga totales. Fuente: elaboración propia.

ACERO GAVANIZADO LISO										
Tramo		L Geom. (m)	D Real (mm)	P.d.c. Conducto (Pa/m)	Codos	P.d.c. Codos (Pa)	P.d.c Rejilla (Pa)	P.d.c. Total (Pa)	P.d.c. Máx. (Pa)	
Inicio	Fin									
IMPULSIÓN										
0	1	1,3	160	0,77	0	0	6	7,00	7,00	
Silenciador		-	-	-	-	-	-	-	-	
ComfoDew		-	-	-	-	-	-	-	-	
Hab. 1+Vestidor	1	2	14,5	80	0,19	3	0,20	6	8,91	8,91
	1	3	14,1	80	0,19	3	0,20	6	8,84	
Hab. 2	1	4	11,8	80	0,19	3	0,20	6	8,41	
Hab. 3	1	5	4,2	80	0,19	1	0,21	6	6,99	
Hab. 4	1	6	1,1	80	0,19	1	0,21	6	6,41	
Pasillo	1	7	12,3	80	0,19	3	0,19	6	8,49	
Salón- Comedor	1	8	9,65	80	0,19	3	0,16	6	7,97	
	1	9	9,65	80	0,19	3	0,16	6	7,97	
TOTAL										15,91
EXTRACCIÓN										
0	1	1,50	160,0	0,77	0	0	6,00	7,15	7,15	
Silenciador		-	-	-	-	-	-	-	-	
Baño 1	1	2	16,70	80,0	0,19	2	0,20	6,00	9,32	9,32
	1	3	16,70	80,0	0,19	2	0,20	6,00	9,32	
Baño 2	1	4	7,70	80,0	0,19	2	0,21	6,00	7,65	
Baño 3	1	6	2,05	80,0	0,19	2	0,20	6,00	6,58	
Cocina	1	8	10,40	80,0	0,19	1	0,21	6,00	8,15	
	1	9	12,10	80,0	0,19	1	0,21	6,00	8,47	
	1	10	12,10	80,0	0,19	1	0,21	6,00	8,47	
Sala T.	1	11	1,65	80,0	0,19	1	0,19	6,00	6,50	
TOTAL										16,48

Los conductos estarán suspendidos del techo con soportes de perfil metálico y varilla roscada totalmente galvanizados.

Aislamiento térmico

Los conductos de impulsión deberán quedar aislados para asegurar que el aire impulsado hasta cada estancia no pierda la energía adquirida gracias al intercambio realizado en el recuperador de calor.

Seguindo con lo establecido en el RITE, el espesor mínimo de los conductos será de 30 mm.

Tabla 6.8 Instalaciones con fluidos calientes que discurren por el interior de edificios. Fuente: RITE.[28]

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	>100...180
D ≤ 35	25	25	30
35 < D ≤ 60	30	30	40
60 < D ≤ 90	30	30	40
90 < D ≤ 140	30	40	50
140 < D	35	40	50

Tabla 6.9 Instalaciones con fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios. Fuente: RITE.[28]

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	>100...180
D ≤ 35	35	35	40
35 < D ≤ 60	40	40	50
60 < D ≤ 90	40	40	50
90 < D ≤ 140	40	50	60
140 < D	45	50	60

Tabla 6.10 Instalaciones con fluidos fríos que discurren por el interior de edificios. Fuente: RITE. [28]

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	>100...180
D ≤ 35	50	40	40
35 < D ≤ 60	60	50	40
60 < D ≤ 90	60	50	50
90 < D ≤ 140	70	60	50
140 < D	70	60	50

Tabla 6.11 Instalaciones con fluidos fríos que discurren por el exterior de edificios. Fuente: RITE. [28]

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	>100...180
D ≤ 35	50	40	40
35 < D ≤ 60	60	50	40
60 < D ≤ 90	60	50	50
90 < D ≤ 140	70	60	50
140 < D	70	60	50

6.2.1.3. Equipos utilizados

La ventilación se realizará mediante los siguientes equipos:

Unidad de ventilación

La circulación del aire realizará con la unidad de ventilación Zehnder ComfoAir 350. Gracias al recuperador de calor a contracorriente encontrado en su interior que tiene un rendimiento del 84%, el aire impulsado estará a una temperatura casi ambiente, con el consiguiente beneficio de la reducción de demanda de climatización.

Los dos ventiladores de impulsión y extracción, son accionados por motores de corriente continua. El recuperador de calor, viene equipado con filtros G4, para conseguir un aire interior limpio y libre de impurezas.

Está equipado con un bypass 100% automático para facilitar la entrada o salida del aire, cuando este no necesite ser “tratado” en el caso de entrada, o cuando su energía no necesite ser recuperada, en el caso de salida.



Figura 6.2 Zehnder ComfoAir 350. Fuente: <http://www.zehnder.es>. [40]

Tabla 6.12 Especificaciones técnicas del ComfoAir 350. Fuente: elaboración propia.

Característica	Valor
Marca	Zehnder
Modelo	ComfoAir 350
Caudal nominal (m ³ /h)	350
Regulación caudal (m ³ /h)	50 – 350
Potencia absorbida (W)	10 – 198
Rendimiento (%)	84%
Alimentación eléctrica	230 Vac 50 Hz
Dimensiones (mm)	625x572x845
Nivel sonoro (dBA)	32 - 74
Peso (kg)	35
Tipo de recuperador de calor	Entálpico

Deshumificador

El deshumidificador está situado a continuación del ComfoAir 350, y a través de él circula únicamente el aire de impulsión, ya que es el que interesa tratar. Está compuesto por una batería de pretratamiento, un circuito de refrigeración y un recuperador de energía.

La batería de pretratamiento cuenta con un intercambiador de calor, cuya función en el período estival es enfriar el aire con las condiciones semejantes a las de condensación, y en el período invernal, el intercambiador de calor puede ser utilizado para aumentar la temperatura del aire antes de entrar en el ambiente.

El circuito de refrigeración está compuesto por un compresor hermético, cuya función principal es la de deshumectar el aire.

El circuito de refrigeración permite la entrada de aire a la misma temperatura que la ambiental o más frío. Para conseguir aire neutro, el deshumidificador recupera parte del calor sensible del circuito de refrigeración; de este modo, se consigue un post- tratamiento del aire recuperando la energía y, al mismo tiempo, una reducción de la potencia solicitada al grupo de refrigeración.

Tabla 6.13 Especificaciones técnicas del ComfoDew 350. Fuente: elaboración propia.

Característica	Valor
Marca	Zehnder
Modelo	ComfoDew 350
Caudal máximo de aire (m ³ /h)	350
Caudal nominal de agua (m ³ /h)	0,3
Potencia eléctrica (W)	400
Dimensiones (mm)	758x734x262

Conductos de ventilación

El aire circulará a través de los conductos de ventilación impulsados gracias al ComfoAir 350, y acondicionado gracias al ComfoDew 350.

Los conductos utilizados en la instalación serán de sección circular y acero galvanizado de la casa NOVATUB S.L [3]. Los encargados de la impulsión, estarán aislados térmicamente gracias a una aislante de 30 mm de espesor de lana de vidrio.

A continuación se adjunta el plano de distribución de los conductos de ventilación así como la maquinaria utilizada. Se muestra en color azul los conductos encargados de la distribución del aire, juntamente con sus respectivos aislamientos, y en color naranja, los encargados de la extracción. El ComfoAir se ubica en la pared teniendo su entrada de admisión sobre la puerta de la entrada, y su extracción en el techo.

6.2.2. Plano instalación conductos ventilación

6.2.3. Sistema de climatización

En cuanto al sistema terminal, se opta por utilizar el aire de ventilación como vehículo calorífico, mediante un equipo de deshumidificación y distribuido mediante conductos aislados hasta el elemento terminal de impulsión (explicado en el punto anterior).

Como sistema de apoyo para la climatización, se instalará un sistema de suelo radiante/refrescante. Como tal, se ubica en el suelo, sobre un panel aislante formado con perturbaciones mediante las que se distribuirá el tubo utilizado para el transporte de agua. Sobre los tubos, se colocará un mortero autonivelante especial para suelo radiante, garantizando el adecuado intercambio de calor entre los tubos y el suelo de la vivienda. El conjunto de tubos por el que circulará el agua fría o caliente será de polietileno reticulado y se alimentarán mediante los colectores situados en el distribuidor, donde llegará el agua proveniente de la bomba de calor. Estos colectores serán los encargados de distribuir el agua a los diferentes circuitos, con sus adecuados caudal y presión.

El sistema de producción está basado en una bomba de calor aerotérmica que tanto hará la producción de agua caliente sanitaria como de climatización para el suelo radiante/refrescante. La explicación de esta, se realiza en el apartado de *6.3 Suministro de agua*.

6.2.3.1. Demanda anual de calefacción y refrigeración

La demanda anual de climatización ha sido calculada mediante el software de simulación estática PHPP del Passive House Institute. Esta demanda se calcula para cada mes del año, y se determina en función de unas pérdidas y unas ganancias de calor determinadas.

Las pérdidas de calor son las debidas a:

- La transmisión a través de los elementos constructivos.
- La ventilación o infiltración de aire del exterior.

Las ganancias de calor, por otro lado, son las debidas a:

- La radiación solar.
- Cargas internas (iluminación, equipos electrónicos, personas,...)

Para evaluar los flujos de calor considerados en el cálculo, el software muestra de manera gráfica los resultados obtenidos para cada demanda.

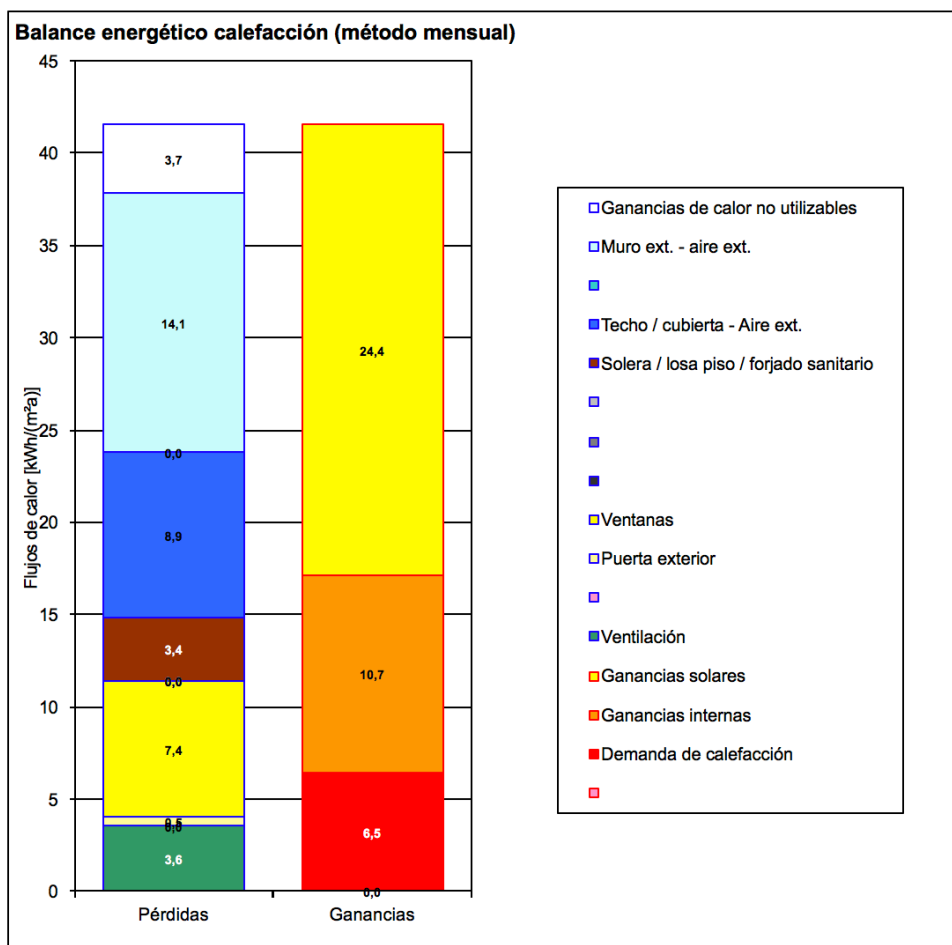


Gráfico 6.1 Balance energético calefacción. Fuente: PHPP- Cas Matà; elaboración propia.

Mediante el balance energético mostrado en el Gráfico 6.2 se observa claramente el gran aporte energético solar que recibe la vivienda. Estas valiosas ganancias, son debidas principalmente a sus grandes ventanales situados a la facha sur de la vivienda. Gracias a esta energía solar (24,4 kWh/m²año), juntamente con las ganancias internas de la vivienda (10,7 kWh/m²año), se consigue la necesidad del bajo aporte de calefacción para garantizar el confort térmico deseado, siendo este de 6,5 kWh/m²año.

Aun consiguiendo una estructura hermética, y con bajos valores de transmitancia, la mayor pérdida energética se produce a través de los cerramientos; muro exterior, techo y solera, sumando un total de 26,4 kWh/m²año. Gracias a la hermeticidad de la vivienda, las pérdidas a través de la ventilación obtienen un valor de 3,6 kWh/m²año.

En el caso de la demanda de refrigeración, el Gráfico 6.4 es el encargado de mostrar el balance energético. Lo que antes era una gran ayuda para la climatización de la vivienda, ahora es un lastre; las cargas internas de calor (16,9 kWh/m²año), juntamente con el calor no utilizable de la vivienda (13,3 kWh/m²año), son los principales responsables de la demanda de refrigeración. Sin embargo, cabe destacar la diferencia entre el aporte solar para la calefacción y para la refrigeración; en este segundo caso, las protecciones solares de la vivienda juegan un papel primordial para asegurar la

sombra en los grandes ventanales que en invierno absorben la energía del sol. Gracias a estas protecciones, se pasa de un aporte solar de 24,4 kWh/m²año en invierno, a uno de 5,2 kWh/m²año en verano.

Un aspecto muy importante para la refrigeración en verano, es la ventilación a natural a través de las ventanas. Aunque la vivienda no esté dotada de una ventilación cruzada adecuada, la ventilación a través de estos cerramientos ayuda a disminuir notablemente la demanda de refrigeración, ya que gracias a ella se pierde un flujo de calor de 16,8 kWh/m²año.

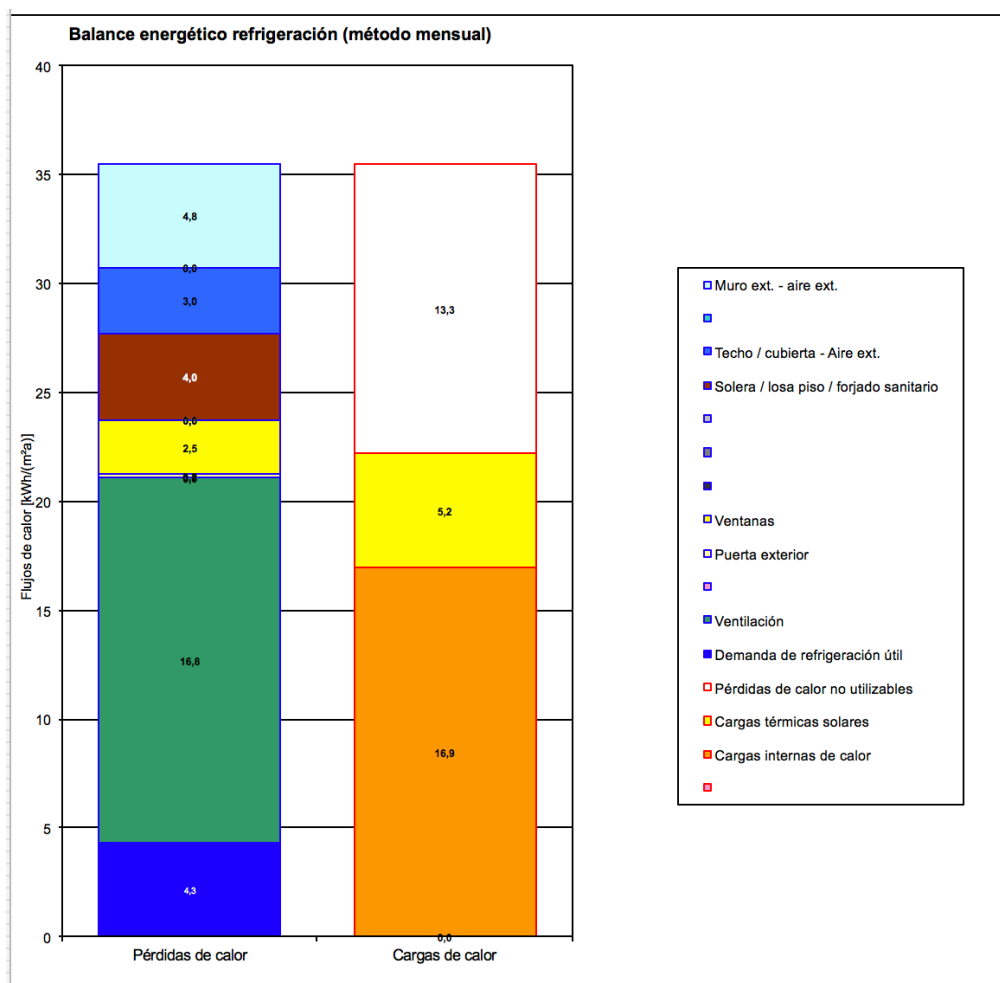


Gráfico 6.2 Balance energético refrigeración. Fuente: PHPP- Cas Matà; elaboración propia.

Conocidos los balances energéticos, se realiza la resta entre las pérdidas y las ganancias de calor, y se obtienen los valores de demanda de calefacción y refrigeración mensual.

Tabla 6.14 Demanda de calefacción mensual. Fuente: PHPP-vivienda Cas Matà; elaboración propia.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año	
Grados-hora calefacción, ext.	7,5	6,6	6,5	5,0	3,0	-0,1	-2,2	-2,7	-1,4	1,2	4,4	6,5	34	kKñ
Grados-hora calefacción, terreno	2,1	2,4	2,9	2,7	2,2	0,7	-0,1	-0,6	-0,9	-0,7	0,6	1,4	13	kKñ
Pérdidas al exterior	1207	1064	1044	802	485	-19	-353	-438	-218	194	701	1042	5511	kWh
Pérdidas hacia el terreno	93	106	128	117	99	29	-3	-28	-37	-32	26	59	557	kWh
Total de pérdidas específicas	7,1	6,4	6,4	5,0	3,2	0,1	-1,9	-2,5	-1,4	0,9	3,9	6,0	32,9	kWh/m²
Ganancias solares - norte	12	13	19	23	29	32	31	25	19	16	12	11	240	kWh
Ganancias solares - este	51	64	94	112	126	132	138	127	99	77	52	46	1118	kWh
Ganancias solares - sur	444	463	514	437	364	331	367	437	485	514	430	430	5215	kWh
Ganancias solares - oeste	26	32	48	57	64	66	70	64	50	39	26	24	567	kWh
Ganancias solares - horizontal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Ganancias solares - opaco	55	61	79	83	87	88	93	90	79	71	54	52	894	kWh
Ganancias internas calor (GIC)	288	260	288	279	288	279	288	279	288	279	288	288	3389	kWh
Total ganancias esp. solares + int.	4,8	4,8	5,7	5,4	5,2	5,0	5,4	5,6	5,5	5,5	4,6	4,6	62,0	kWh/m²
Grado de aprovechamiento	100%	99%	97%	89%	61%	1%	100%	100%	100%	16%	83%	99%	43%	
Demanda de calefacción	425	285	163	41	0	0	0	0	0	0	17	259	1189	kWh
Demanda esp. calefacción	2,3	1,5	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,4	6,5	kWh/m²

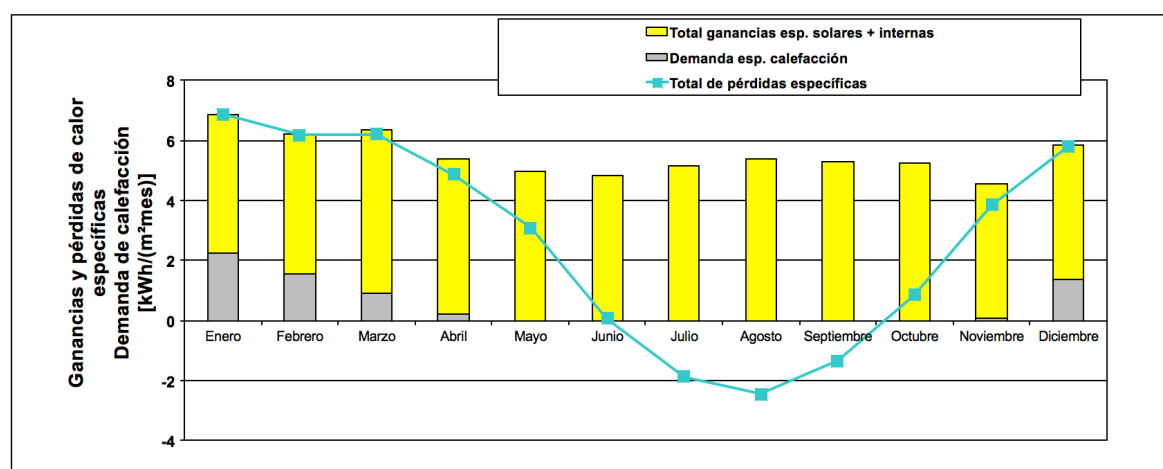


Gráfico 6.3 Demanda de calefacción mensual. Fuente: PHPP-Cas Matà; elaboración propia..

Realizado el análisis se obtiene que la demanda de calefacción total es de 1189 kWh/año, siendo de 6,5 kWh/m²·año al referenciarse a su superficie de referencia de 184,24 m². Esta será necesaria durante los meses de Diciembre, Enero, Febrero, Marzo, y ligeramente en Noviembre y Abril.

Con este valor de demanda de calefacción, queda justificado el cumplimiento del DB-HE-0 "Limitación de la demanda energética", por el que se establece que la demanda energética de calefacción no debe superar el valor límite de 15 kWh/m²·año.

Tabla 6.15 Demanda de refrigeración mensual. Fuente: PHPP-vivienda Cas Matà ; elaboración propia..

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año	
Grados-hora de calefacción, exte	11,3	10,0	10,2	8,6	6,8	3,5	1,6	1,0	2,3	5,0	8,0	10,2	78	kWh
Grados-hora de calefacción, terre	5,8	5,8	6,6	6,3	6,0	4,3	3,6	3,1	2,7	3,0	4,2	5,1	56	kWh
Pérdidas exterior	3368	2997	3065	2571	2003	1014	416	253	638	1454	2377	3053	23207	kWh
Pérdidas hacia el terreno	256	254	292	275	262	187	160	135	121	132	184	223	2480	kWh
Pérdidas ventilación en verano	1510	1342	1350	1101	817	398	0	0	263	575	1001	1338	9694	kWh
Total de pérdidas de calor espec	27,9	24,9	25,5	21,4	16,7	8,7	3,1	2,1	5,5	11,7	19,3	25,0	192,0	kWh/m²
Cargas solares norte	5	6	8	9	12	13	13	10	8	7	5	4	101	kWh
Cargas solares este	22	27	40	48	54	56	59	54	42	33	22	20	479	kWh
Cargas solares sur	24	25	27	23	19	18	20	23	26	27	23	23	278	kWh
Cargas solares oeste	12	15	22	26	29	30	32	29	23	18	12	11	258	kWh
Cargas solares horizontales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kWh
Cargas solares elementos opaco	55	61	79	83	87	88	93	90	79	71	54	52	894	kWh
Ganancias internas de calor (GIC	633	571	633	612	633	612	633	633	612	633	612	633	7449	kWh
Total de cargas específicas solar	4,1	3,8	4,4	4,4	4,5	4,4	4,6	4,6	4,3	4,3	4,0	4,0	51,3	kWh/m²
Grado de aprovechamiento de pé	15%	15%	17%	20%	27%	51%	93%	100%	75%	37%	20%	16%	25%	
Demanda total de refrigeración	0	0	0	0	0	2	314	453	28	0	0	0	797	kWh
Demanda específica de refrigerac	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	2,5	0,1	0,0	0,0	0,0	4,3	kWh/m²
Demanda específica de deshumid	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	4,5	1,6	0,0	0,0	0,0	9,5	kWh/m²
Proporción sensible	100%	100%	100%	100%	100%	100%	34%	35%	9%	100%	100%	100%	31%	

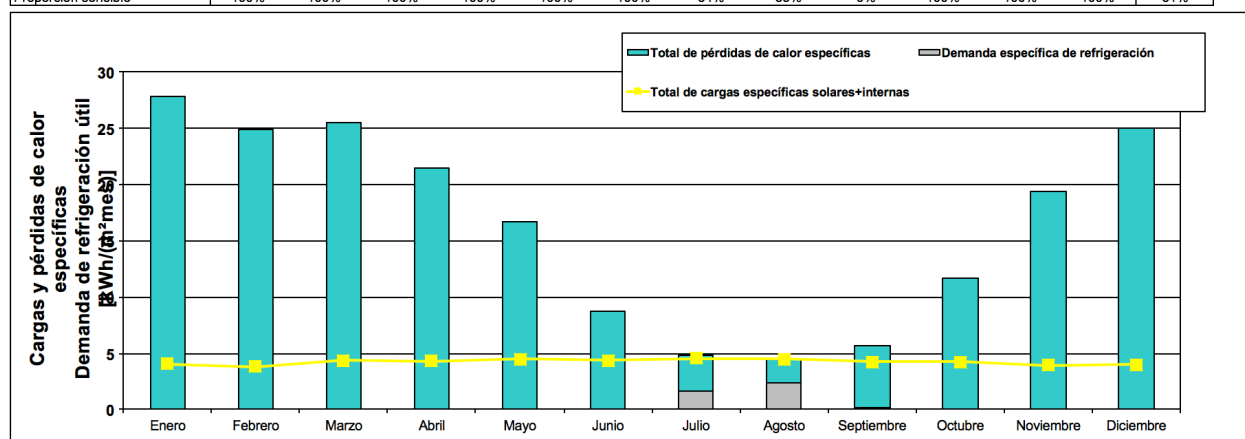


Gráfico 6.4 Demanda de refrigeración mensual. Fuente: PHPP-vivienda Cas Matà ; elaboración propia..

Para el caso de la refrigeración, el valor asciende a 797 kWh/año, y al referenciarse a la superficie, de 4 kWh/m²/año, siendo esta principalmente necesaria durante los meses más calurosos del año; Julio y Agosto. Sin embargo no solo se debe tener en cuenta la demanda de refrigeración como tal, sino también la demanda de deshumidificación. Considerando ambos casos, asciende a un tota de 14 kWh/m²/año.

Con este valor de demanda de calefacción queda justificado el cumplimiento del DB-HE-0 “Limitación de la demanda energética”, por el que se establece que la demanda energética de refrigeración no debe superar el valor límite de 15 kWh/m²/año.

Tabla 6.16 Cargas de humedad totales. Fuente: PHPP-Cas Matà ; elaboración propia.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año	
Fuentes internas de humedad:	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1	12	kWh/m²
Infiltración / Ventana / Sistema de extracción	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,1	0,1	0,2	0,0	-0,1	-0,3	-0,4	-3	kWh/m²
Sistema de ventilación, aire de impulsión	-9,5	-8,6	-8,9	-7,9	-5,4	-2,0	2,2	3,3	0,5	-2,1	-5,6	-9,0	-53	kWh/m²
Ventilación en verano por ventanas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh/m²
Ventilación en verano mecánica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh/m²
Cargas de humedad totales	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	4,5	1,6	0,0	0,0	0,0	9	kWh/m²
Deshumidificación por refrigeración del aire d	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh
Deshumidificación por refrigeración de aire en	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh
Deshumidificación adicional	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	4,5	1,6	0,0	0,0	0,0	9	kWh
Deshumidificación total	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	4,5	1,6	0,0	0,0	0,0	9	kWh
Deshumidificación innecesaria	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh
Deshumidificación faltante	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	kWh

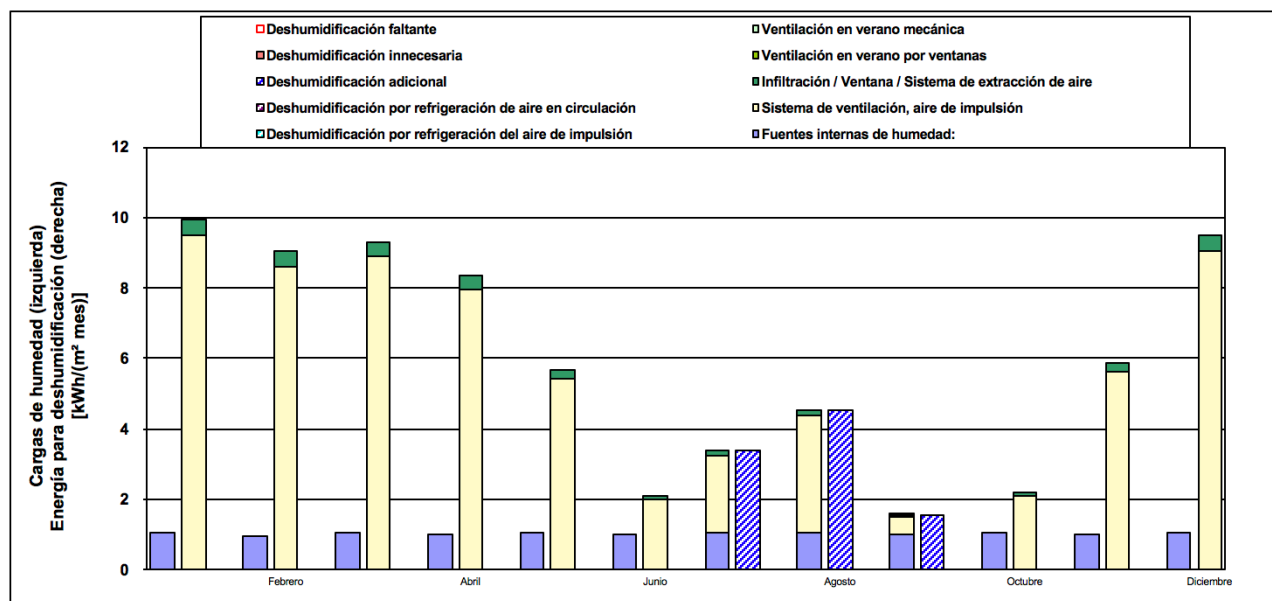


Gráfico 6.5 Cargas de humedad y energía para deshumidificación. Fuente: PHPP-Cas Matà ; elaboración propia.

6.2.3.2. Carga anual de calefacción y refrigeración

El cálculo de las cargas térmicas ha sido realizado mediante el mismo método explicado para la demanda de calefacción y refrigeración. Se consideran las mismas condiciones (carga/pérdida de calor por transmisión y por ventilación, y carga térmica solar e internas) , y en función de estas se determina la carga anual de calefacción y refrigeración.

Para la determinación de estas, se plantean dos escenarios.

Para la carga térmica de calefacción, debido a que la radiación solar incidente varía en función de del estado del cielo, y por lo tanto en función de la temperatura, ya que suelen darse días muy soleados y fríos, y por el contrario días nublados pero más cálidos, se plantean:

- Un día de invierno muy frío pero soleado (5,5 °C).
- Un día moderadamente frío y nublado, sin radiación solar significativa (11,4 °C).

Para la carga térmica de refrigeración, en verano se dan altas temperaturas con altas radiaciones a la vez, es por eso que en este caso se determina la carga térmica sensible y la latente.

Las cargas térmicas obtenidas son:

Tabla 6.17 Carga térmica para calefacción. Fuente: elaboración propia.

CALEFACCIÓN	W/m ²	W
Carga térmica	9,2	1689
carga térmica, sin ganancias	6,2	1134

Tabla 6.18 Carga térmica para refrigeración. Fuente: elaboración propia.

REFRIGERACIÓN	W/m ²	W
Carga térmica sensible	6,5	1203
Carga térmica latente	12,6	2320

En el caso de la calefacción, se tiene cuenta la carga térmica más desfavorable. Para la refrigeración, la carga térmica sensible.

6.2.3.3. Dimensionado del suelo radiante

El suelo radiante se utilizará como sistema de climatización de apoyo, ya que gracias al recuperador de calor y deshumidificador, el aire introducido en la vivienda entra a una temperatura de "confort".

Según los resultados obtenidos en la simulación de la vivienda, no sería necesario un sistema de climatización de apoyo para la refrigeración de la vivienda, ya que a través del aire de impulsión se considera satisfecha dicha demanda, pero sí para la calefacción. Se dimensiona un suelo radiante/refrescante para satisfacer ambas climatizaciones, y así poder aportar una temperatura más cálida en invierno que no los 20 °C considerado por el Passivhaus, que personalmente considero temperatura baja para el interior de una vivienda en invierno.

Tomando como base las condiciones climatológicas del fichero climático oficial de Palma de Mallorca del Passive House Institute al que se le ha corregido la diferencia de altura de la estación meteorológica respecto de la ubicación de Cas Matà, las temperaturas del aire exterior son las siguientes:

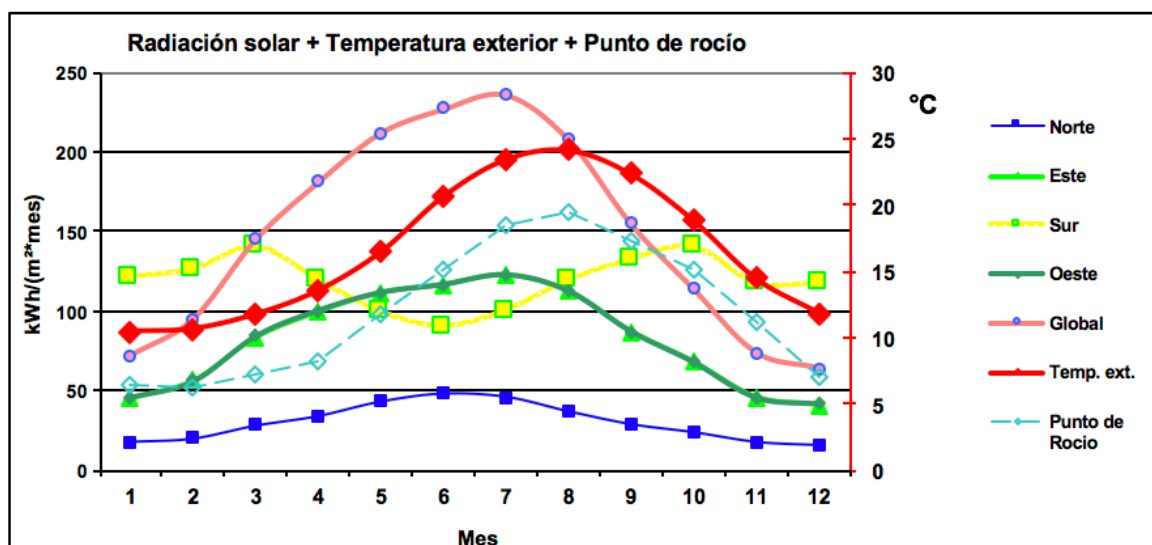


Gráfico 6.6 Temperatura exterior media en °C. Fuente: PHPP- Cas Matà.

Cargas térmicas por estancia

Para el dimensionado del suelo radiante, se necesita determinar las cargas térmicas de cada una de las estancias a climatizar. El software PHPP propicia las generales de la vivienda; tomando estos valores, y referenciándolos a las superficies a climatizar con el suelo radiante, se obtienen las siguientes cargas térmicas.

Tabla 6.19 Cargas térmicas y densidad de flujo térmico de calefacción y refrigeración para cada estancia. Fuente: elaboración propia.

Estancia	Pond.	Q calefacción (W)	Q refrigeración (W)	S (m ²)	q calefacción (W/m ²)	q refrigeración (W/m ²)
Hab. 1	13%	221,13	182,16	20,75	1,20	0,85
Vestidor	7%	112,54	92,71	10,56	0,61	0,44
Baño 1	4%	66,93		6,28	0,36	
Hab. 2	8%	131,19	108,07	12,31	0,71	0,51
Baño 2	5%	80,89		7,59	0,44	
Hab. 3	10%	168,27	138,62	15,79	0,91	0,65
Baño 3	5%	80,89		7,59	0,44	
Hab. 4	9%	156,98	129,31	14,73	0,85	0,61
Estudio	6%	95,91	79,01	9	0,52	0,37
Cocina	9%	151,44	124,75	14,21	0,82	0,59
Salón-Comedor	25%	422,98	348,43	39,69	2,30	1,64
Distribuidor	-	-	-	-	-	-
Entrada	-	-	-	-	-	-
Cuarto técnico	-	-	-	-	-	-
TOTAL	100%	1689,13	1203,06	158,50	9,17	6,53

El valor de las cargas térmicas totales para calefacción y refrigeración al que se han referenciado las parciales, son las mostradas en las Tabla 6.17 y Tabla 6.18, respectivamente. Los valores generales utilizados son para la vivienda con una superficie útil de 184,24 m², sin embargo la superficie total a climatizar mediante el suelo radiante asciende a 158,50 m², ya que el cuarto técnico, el distribuidor y la entrada no son considerados para ser climatizados mediante esta tecnología.

Se observa también en la Tabla 6.19, que en los baños no hay potencia de refrigeración ya que estos no se consideran como espacios a refrigerar [18]. En este caso el cálculo se ha realizado tomando como superficie total 137,04 m², es decir la considerada sin los baños.

Para realizar el cálculo de la instalación de suelo radiante se debe partir de una temperatura máxima de la superficie del suelo según la instalación. Mediante este valor se determina la densidad de flujo térmico límite.

Tabla 6.20 Suelo radiante para calefacción. Fuente: Manual Técnico para Suelo Radiante de UPONOR. [21]

Tipos de recinto	$\theta_{f,max}$ (°C)	θ_i (°C)	q_G (W/m ²)
Zona de permanencia (ocupada)	29	20	100
Cuartos de baño y similares	33	24	100
Zona periférica	35	20	175

Abreviaturas utilizadas

$\theta_{f,max}$	Temperatura máxima de la superficie del suelo
θ_i	Temperatura del recinto
q_G	Densidad de flujo térmico límite

Tabla 6.21 Suelo radiante para refrigeración. Fuente: Manual Técnico para Suelo Radiante de UPONOR. [21]

Tipos de recinto	$\theta_{f,min}$ (°C)	θ_i (°C)	q_G (W/m ²)
Zona de permanencia (ocupada)	19	26	49

Abreviaturas utilizadas

$\theta_{f,min}$	Temperatura mínima de la superficie del suelo
θ_i	Temperatura del recinto
q_G	Densidad de flujo térmico límite

La densidad de flujo térmico para calefacción asciende a 100 W/m², y para refrigeración a 49 W/m². En el caso de la vivienda ningún circuito sobrepasa estos valores límites.

Ubicación de los colectores y diseño de circuitos

El aporte calorífico se realizará mediante los colectores de impulsión y retorno que comunican los circuitos del suelo radiante con la bomba de calor aerotérmica.

Los colectores estarán situados en el interior de una caja empotrable ubicada en el distribuidor, de manera que se colocarán en un lugar centrado respecto las estancias a las que el suelo radiante dará servicio.

La instalación se realiza con la tubería e Roth [31] con barrera antioxígeno de Ø16x2,0 mm de polietileno reticulado. La separación para este diámetro y para un sistema destinado a la calefacción y refrigeración es de 15 cm, pudiendo ser de 10 cm en baños. Sin embargo, para la vivienda se ha dimensionado con una separación de 15 cm en su totalidad y con un trazado en espiral.

La longitud de la tubería para cada circuito depende de la distancia entre el colector y el área a climatizar, así como de la separación ente tubería y el área a climatizar. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$L = \frac{A}{e} + 2 \cdot l \quad (\text{Ec. 6.10})$$

Donde,

L : longitud real de la tubería en m

A : área a climatizar en m²

e : separación entre tuberías en m

l : distancia entre colector y área a climatizar en m

Tabla 6.22 Longitud real de la tubería para cada circuito. Fuente: elaboración propia.

Armario colectores	Recinto	Circuito	e (cm)	S (m ²)	l (m)	q _c (W/m ²)	q _r (W/m ²)	L _{máx} (m)	L _{Real} (m)
C1	Hab. 1	C1.1	15	10,38	5,5	0,60	0,85	120	80,17
	Hab. 1	C1.2	15	10,38	5,5	0,60	0,85		80,17
	Vestidor	C1.3	15	10,56	6	0,61	0,44		82,40
	Baño 1	C1.4	15	6,28	8	0,36	-		57,87
	Hab. 2	C1.5	15	12,31	4	0,71	0,51		90,07
	Baño 2	C1.6	15	7,59	5,5	0,44	-		61,60
	Hab. 3	C1.7	15	15,79	3	0,91	0,65		111,27
C2	Baño 3	C2.1	15	7,59	8	0,44	-		66,60
	Hab. 4	C2.2	15	14,73	4	0,85	0,61		106,20
	Estudio	C2.3	15	9,00	5	0,52	0,37		70,00
	Cocina	C2.4	15	14,21	7	0,82	0,59		108,73
	Salón-Comedor	C2.5	15	13,23	1	0,77	0,55		90,20
	Salón-Comedor	C2.6	15	13,23	1	0,77	0,55		90,20
	Salón-Comedor	C2.7	15	13,23	1	0,77	0,59		90,20

Tal y como se observa en la tabla, los circuitos se sitúan en dos armarios distintos, ya que el número máximo de circuitos proporcionados en una misma caja puede ser como máximo de 12, y en la vivienda se obtienen un total de 14 diferentes. La habitación 1 y el salón-comedor necesitan más de un circuito para cubrir la totalidad de su superficie, ya que en caso contrario se sobrepasaría la longitud máxima permitida y no se garantizaría la adecuada transferencia de calor.

En el momento de la realización del plano de distribución del suelo, las longitudes de las tuberías instaladas obtienen valores menores. Se justifica esta diferencia debido a la consideración de las ubicaciones de los posibles muebles o electrodomésticos utilizados en las superficies consideradas.

Caudal de agua en los circuitos

La temperatura de impulsión para la calefacción y para la refrigeración se ha considerado la detallada por el equipo productor de agua fría o caliente, según proceda. Para la calefacción esta temperatura es de 35 °C, y para la refrigeración de 18 °C. Los saltos térmicos serán de 7 y 5 °C respectivamente [21], siendo pues la temperatura de retorno para la calefacción de 28 °C, y para la refrigeración de 23 °C. Conocidas las cargas térmicas y los saltos térmicos, se procede al cálculo del caudal.

$$P = \dot{m} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (\text{Ec. 6.11})$$

Donde,

P: carga térmica en W

m: caudal de agua en l/s

ρ: densidad del agua en kg/l

c_p: calor específico del agua en J/kg · K

ΔT: salto térmico en K

Tabla 6.23 Caudales de calefacción y refrigeración. Fuente: elaboración propia.

Recinto	Circuito	P _{calefacción} (W)	<i>m</i> _{calefacción} (l/h)	P _{refrigeración} (W)	<i>m</i> _{refrigeración} (l/h)
Hab. 1	C1.1	110,57	13,60	91,08	15,68
Hab. 1	C1.2	110,57	13,60	91,08	15,68
Vestidor	C1.3	112,54	13,84	92,71	15,96
Baño 1	C1.4	66,93	8,23	0,00	0,00
Hab. 2	C1.5	131,19	16,13	108,07	18,61
Baño 2	C1.6	80,89	9,95	0,00	0,00
Hab. 3	C1.7	168,27	20,69	138,62	23,87
Baño 3	C2.1	80,89	9,95	0,00	0,00
Hab. 4	C2.2	156,98	19,30	129,31	22,26
Estudio	C2.3	95,91	11,79	79,01	13,60
Cocina	C2.4	151,44	18,62	124,75	21,48
Salón-Comedor	C2.5	140,99	17,34	116,14	20,00
Salón-Comedor	C2.6	140,99	17,34	116,14	20,00
Salón-Comedor	C2.7	140,99	17,34	116,14	20,00

Los conductos que conectan los colectores con el equipo productor, serán de las mismas características que los tubos del suelo radiante, es decir de polietileno reticulado y de 16 mm de diámetro. Suponiendo una velocidad de circulación de 2 m/s, y con los caudales de la Tabla 6.23, el conducto de 16 mm satisface las necesidades.

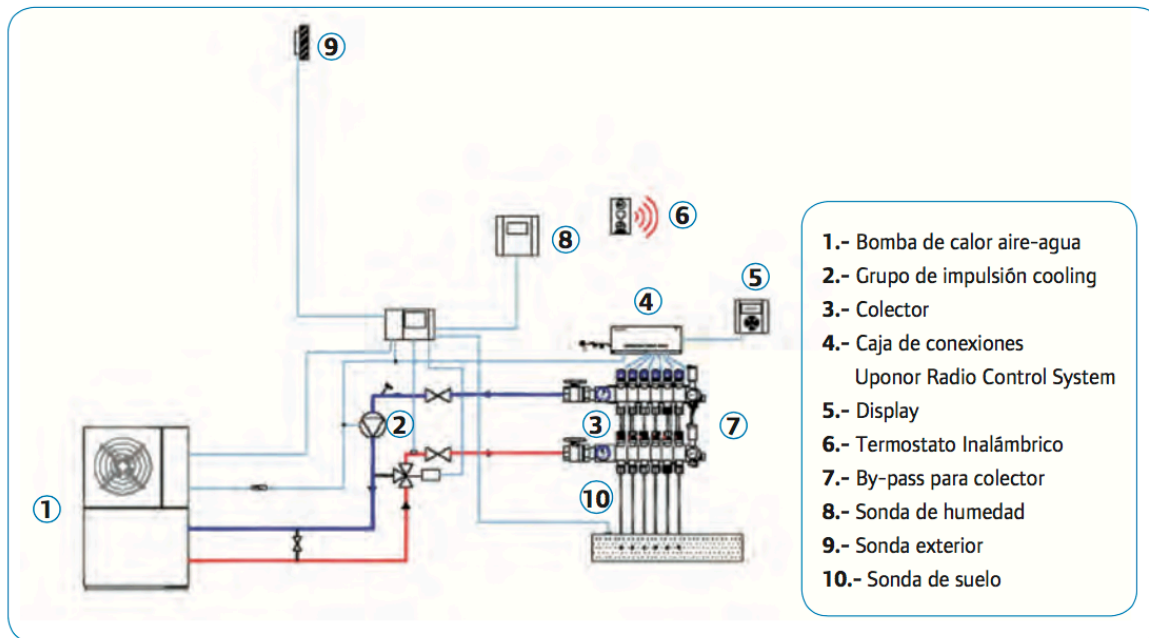


Figura 6.3 Esquema de principio propuesto. Fuente: Manual Técnico para Suelo Radiante de UPONOR. [21]

6.2.3.4. Equipos utilizados

Bomba de calor aerotérmica

Mediante la bomba de calor aerotérmica aire/agua Rotex HSPU 508 de 8 kW se consigue, de manera instantánea, el agua caliente sanitaria que se consumirá en los baños y cocina, además del agua utilizada para el funcionamiento del suelo radiante, tanto fría como caliente gracias a su capacidad inverter.

Dispone de una unidad exterior, a través de la cual se toma el aire que se utilizará para realizar el intercambio de energía con el agua, y de una interior que se compone de una bomba de calor y del acumulador de ACS.



Figura 6.4 Bomba de calor aerotérmica Rotex HPSU Compact. Fuente: <http://es.intpre.daikineurope.com/rotex/> [5]

Tabla 6.24 Características técnicas de la bomba de calor aerotérmica. Fuente: elaboración propia.

Característica	Valor
Marca	Rotex
Modelo	HPSU Compact 508
Capacidad calorífica nominal (kW) A7/I35	6,22
Capacidad frigorífica máxima (kW) A35/I18	7,3
COP Nominal A7/I35	4,88
Alimentación eléctrica	230 Vac 50 Hz
Nivel de presión sonoro máximo (dBA)	48
Peso (kg)	56
Dimensiones unidad exterior (mm)	832x307x735
Dimensiones unidad interior (mm)	790x790x1951

Suelo radiante

El suelo radiante se compone de 5 elementos principales; la placa aislante, los tubos de PEX de $\varnothing 16 \times 2,0$ mm, el mortero autonivelante de alta conductividad térmica, las dos cajas empotrables y los 14 colectores.

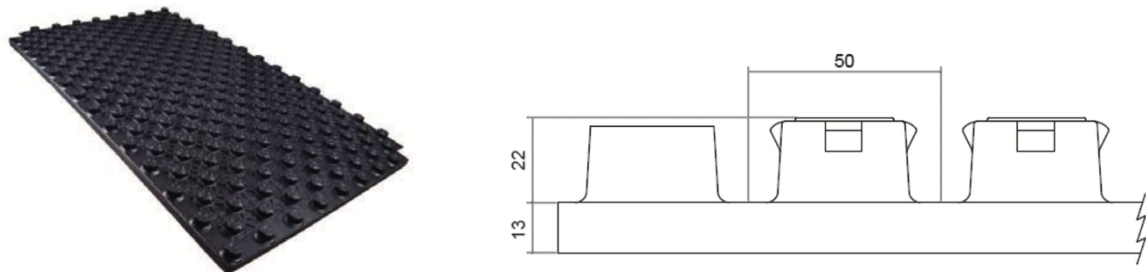


Figura 6.5 Placa aislante Nopas 13 Térmica Stark. Fuente: <http://www.roth-spain.com>. [31]

En la Placa aislante se ubican los tubos por los que transcurrirá el agua climatizada. Sus dimensiones son de 1400x800x35 mm y su conductividad térmica de 0,030 W/mK.

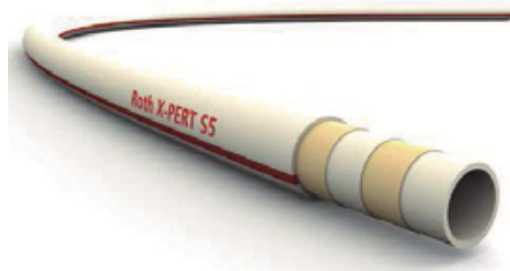


Figura 6.6 Tubo ROTH X-PERT S5 con barrera EVOH. Fuente: <http://www.roth-spain.com>. [31]

Su conductividad térmica es de 0,42 W/m·K, ideal para instalaciones destinadas a calefacción y refrigeración.

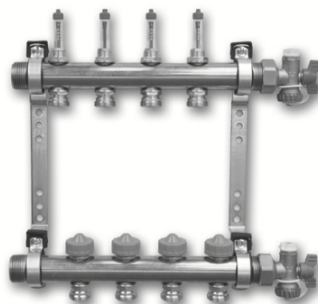


Figura 6.7 Colector compacto HKV de Roth. Fuente: <http://www.roth-spain.com>. [31]

Conjunto de 7 colectores de latón resistente a la corrosión, con soporte insonorizado y terminales con llaves de llenado/vaciado con purgador. El caudal máximo admitido es de 4 l/min, y su presión máxima de trabajo de 6 bar.

6.2.4. Plano instalación suelo radiante/refrescante

6.3. Suministro de agua

6.3.1. Consumo

Las necesidades de agua fría y agua caliente que se deben cubrir corresponden al consumo de los siguientes aparatos instalados:

Tabla 6.25 Aparatos instalados en la vivienda. Fuente: elaboración propia.

Estancia	Aparato	Unidades
Baño 1	Inodoro	1
	Bidé	1
	Lavabo	2
	Bañera	1
Baño 2	Inodoro	1
	Lavabo	1
	Ducha	1
Baño 3	Inodoro	1
	Lavabo	1
	Ducha	1
Cocina	Fregadero	2
	Lavavajillas	1
Sala Técnica	Lavadora	1

6.3.1.1. Previsión de consumos

La previsión de consumos para cada elemento se ha realizado en base a lo indicado en el DB-HS 4 “Suministro de agua” en su punto 2.1.3 “Condiciones mínimas de suministro”.

En las siguientes tablas se muestran los consumos estipulados, así como el consumo total acumulado teniendo en cuenta el coeficiente de simultaneidad considerado para el tipo de actividad.

Tabla 6.26 Caudales agua fría sanitaria. Fuente: elaboración propia.

Agua Fría Sanitaria								
Estancia	Aparato	Ud.	Q _{instant.} mín. (l/s)	Q _{instant.} mín. (l/s)	Q _{instant.} acum. (l/s)	Coef. simultaneidad Kv	Q _{simult.} acum. (l/s)	Q _{simult.} acum. (m ³ /h)
Baño 1	Inodoro	1	0,100	0,100	0,70	0,56	0,39	1,41
	Bidé	1	0,100	0,100				
	Lavabo	2	0,100	0,200				
	Bañera	1	0,300	0,300				
Baño 2	Inodoro	1	0,100	0,100	0,40	0,75	0,30	1,09
	Lavabo	1	0,100	0,100				
	Ducha	1	0,200	0,200				
Baño 3	Inodoro	1	0,100	0,100	0,40	0,75	0,30	1,09
	Lavabo	1	0,100	0,100				
	Ducha	1	0,200	0,200				
Cocina	Fregadero	2	0,200	0,400	0,55	0,75	0,42	2,73
	Lavavajillas	1	0,150	0,150				
Sala Técnica	Lavadora	1	0,200	0,200	0,20	1,00	0,20	0,72
TOTAL		15			2,25	0,34	0,77	7,04

Tabla 6.27 Caudales agua caliente sanitaria. Fuente: elaboración propia.

Agua Caliente Sanitaria								
Estancia	Aparato	Ud.	Q _{instant.} mín. (l/s)	Q _{instant.} mín. (l/s)	Q _{instant.} acum. (l/s)	Coef. simultaneidad Kv	Q _{simult.} acum. (l/s)	Q _{simult.} acum. (m ³ /h)
Baño 1	Inodoro	-	-	-	0,40	0,63	0,25	0,90
	Bidé	1	0,065	0,065				
	Lavabo	2	0,065	0,130				
	Bañera	1	0,200	0,200				
Baño 2	Inodoro	-	-	-	0,17	1,03	0,17	0,61
	Lavabo	1	0,065	0,065				
	Ducha	1	0,100	0,100				
Baño 3	Inodoro	-	-	-	0,17	1,03	0,17	0,61
	Lavabo	1	0,065	0,065				
	Ducha	1	0,100	0,100				
Cocina	Fregadero	2	0,100	0,200	0,30	0,75	0,23	0,81
	Lavavajillas	1	0,100	0,100				
Sala Técnica	Lavadora	1	0,150	0,150	0,15	1,00	0,15	0,54
TOTAL		12			1,18	0,37	0,44	1,58

El coeficiente de simultaneidad se ha calculado según la siguiente ecuación (Norma Básica de Instalaciones Interiores de Suministro de Agua):

$$K_v = \frac{1}{\sqrt{X-1}} + a \cdot [0,035 + 0,035 \cdot \log_{10}(\log_{10} X)] ; Q_c = K_v \cdot \sum Q_t \quad (\text{Ec. 6.12})$$

Donde,

K_v : coeficiente de simultaneidad

X : número de aparatos instalados

a : factor corrector, para viviendas es igual a 2

Q_c : caudal máximo previsible en l/s

Q_t : suma del caudal instantáneo mínimo de los aparatos instalados l/s

6.3.2. Dimensionado de la instalación

6.3.2.1. Esquema general de las instalaciones

El esquema general de las instalaciones se ha proyectado según el DB-HS 4 “Suministro de agua” en su punto 3.1 “ Esquema general de la instalación”.

La característica principal de la instalación de agua de la vivienda, es que el suministro de agua no proviene de la red pública de agua potable, ya que en zonas rurales en Ibiza, ésta es inexistente. Sino que el agua para abastecer la demanda de la vivienda, provendrá de un pozo adyacente a esta.

Para ello, se dispone de una bomba hidráulica sumergible para obtener el agua del pozo. Esta se almacena en un depósito de acumulación, desde el cual, mediante un grupo de bombeo, el agua es recirculada hasta la vivienda a través de las tuberías de polietileno reticulado.

La instalación de agua está compuesta por tanto por:

- Bomba hidráulica
- Sistema de filtrado
- Depósito acumulador
- Grupo de bombeo
- Tratamiento UV

Con la utilización de estos componentes se garantiza una presión y caudal constantes en la vivienda, así como un agua libre de microorganismos nocivos.

6.3.2.1.1 Red de agua fría sanitaria (AFS)

Instalación general

El conducto que une el depósito de acumulación y el punto de entrada de agua de la vivienda, se encuentra enterrado en el exterior de esta, y por él circulará el agua después de los tratamientos recibidos.

Cálculo del diámetro de las tuberías

La instalación está compuesta por dos tuberías principales de distribución, D1 y D2, de las que se ramifican las secundarias, encargadas de abastecer a los baños, cocina y sala técnica correspondientes.

El diámetro de las tuberías se ha calculado una vez conocido el consumo de agua acumulado de la vivienda y la velocidad a la que circula la misma. Esta velocidad se ha considerado de 2 m/s, tal y como determina la normativa. [7] Conocidos estos valores, el diámetro se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = v \cdot S \quad (\text{Ec. 6.13})$$

Donde,

Q : caudal en m^3/s

v : velocidad del fluido en m/s

S : sección del conducto en m^2

Y por tanto, substituyendo en la ecuación 6.13 la superficie por su fórmula (EC.14)), y aislando el diámetro, se obtiene su resultado,

$$S = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \quad (\text{Ec. 6.14})$$

Donde,

D : diámetro en m

Una vez conocido este valor, se escoge el valor normalizado que corresponde para cada valor calculado, cumpliendo siempre con los valores mínimos exigidos de diámetros impuestos

encontrados en la Tabla 4.2 Diámetros mínimos de derivaciones a los aparatos y la Tabla 4.3 Diámetros mínimos de alimentación, correspondientes al DB-HS 4 del CTE.

Tabla 6.28 Diámetros de tuberías principales y ramificaciones. Fuente: elaboración propia.

Agua Fría Sanitaria								
Estancia	Aparato	Ud.	Q _{simult} acum. (m ³ /h)	D teórico (mm)	D teórico tramo (mm)	D nom interior tubería (mm)	D nom interior tramo (mm)	Vel. real agua (m/s)
Baño 1	Inodoro	1	1,41	14,12	22,51	20,40	26,00	1,87
	Bidé	1						
	Lavabo	2						
	Bañera	1						
Baño 2	Inodoro	1	1,09	12,40	22,51	20,40	26,00	1,14
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Baño 3	Inodoro	1	1,09	12,40	22,51	20,40	26,00	0,57
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Cocina	Fregadero	2	2,73	19,67	22,11	20,40	26,00	1,81
	Lavavajillas	1						
Sala Técnica	Lavadora	1	0,72	10,09	22,11	20,40	26,00	0,38
Depósito	Depósito-Consumo	1	7,04		31,55		32,6	2,34

Tal y como se ha comentado anteriormente, la instalación de AFS está compuesta por dos tuberías principales, D1 que abastece al Baño 1, Baño 2 y Baño 3, y D2 que abastece a la Cocina y Sala Técnica. Para suplir el agua hasta cada una de estas estancias y aparatos, se encuentra una ramificación proveniente de D1 o D2, según proceda, que desemboca en cada uno de los aparatos encontrados en las estancias.

6.3.2.1.2 Red de agua caliente sanitaria (ACS)

El agua caliente sanitaria se consigue de forma instantánea a través de un acumulador de 500 l y serpentín de acero inoxidable que se calienta mediante una bomba de calor aerotérmica.

El dimensionado de las tuberías se realiza siguiendo la misma metodología explicada para la red de AFS. A continuación se presenta la tabla resumen dónde se detallan los diámetros finalmente utilizados. Al igual que se ha explicado en el apartado 6.3.2.1.1, la red de ACS dispone también de dos tuberías principales, de las cuales se ramifican los ramales para suplir el agua a cada estancia.

Tabla 6.29 Diámetros de tuberías principales y ramificaciones. Fuente: elaboración propia.

Agua Caliente Sanitaria								
Estancia	Aparato	Ud.	Q _{simult} acum. (m ³ /h)	D teórico (mm)	D teórico tramo (mm)	D nom interior tubería (mm)	D nom interior tramo (mm)	Vel. real agua (m/s)
Baño 1	Inodoro	-	0,90	11,27	17,34	20,40	20,40	1,81
	Bidé	1						
	Lavabo	2						
	Bañera	1						
Baño 2	Inodoro	-	0,61	9,32	17,34	20,40	20,40	1,04
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Baño 3	Inodoro	-	0,61	9,32	17,34	20,40	20,40	0,52
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Cocina	Fregadero	2	0,81	10,74	13,85	20,40	20,40	1,15
	Lavavajillas	1						
Sala Técnica	Lavadora	1	0,54	8,74	13,85	20,40	20,40	0,46
TOTAL		12	1,58					

Red de retorno [6]

Tal y como se indica en el DB-HS 4 “Saneamiento” en su apartado 2.3 “Ahorro de agua”, se han previsto dos redes de retorno de ACS, paralelas a las redes de ACS, para los puntos de consumo más lejanos.

6.3.2.1.2.1 Contribución solar para la producción de ACS

Según la normativa vigente, el consumo de agua caliente sanitaria que se realizará se deberá cubrir parcialmente mediante la utilización de energía solar térmica. Las condiciones en las cuales se debe producir esta cobertura están contempladas en el Código Técnico de la Edificación, documento básico DB-HE 4 “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria”.

Cálculo de la demanda

El cálculo de la demanda de ACS se ha realizado según las siguientes especificaciones:

- Uso: Vivienda
- Número de personas: 5
- Número de litros por persona: 28 l a 60 °C

- Zona climática: IV
- Cobertura mínima con energía solar térmica: 50%

La demanda energética anual para la producción de ACS de la vivienda en Ibiza será la siguiente:

Tabla 6.30 Demanda de agua caliente sanitaria. Fuente: elaboración propia.

	T agua red Mallorca (°C)	T agua Ibiza (°C)	Días	Demanda (l/mes)	Demanda (kWh)
Enero	11	9,67	31	4340	253,61
Febrero	11	9,67	28	3920	229,06
Marzo	12	10,67	31	4340	248,57
Abril	13	12,34	30	4200	232,44
Mayo	15	14,34	31	4340	230,11
Junio	18	17,34	30	4200	208,05
Julio	20	19,34	31	4340	204,91
Agosto	20	19,34	31	4340	204,91
Septiembre	19	18,34	30	4200	203,18
Octubre	17	15,67	31	4340	223,37
Noviembre	14	12,67	30	4200	230,80
Diciembre	12	10,67	31	4340	248,57
TOTAL	15,17	14,17	365	51100	2719,12

Los datos de la temperatura del agua son los proporcionados por el DB HE 4 Apéndice B “Temperatura media del agua fría” de la *Tabla B.1 Temperatura diaria media mensual de agua fría (°C)*. La temperatura de agua fría mostrada es para las capitales de provincia, en este caso Palma de Mallorca, y esta debe ser corregida para la ubicación de la vivienda, Ibiza, mediante la siguiente ecuación:

$$T_{AFY} = T_{AFCP} - B \cdot A_z \quad (\text{Ec. 6.15})$$

Donde,

T_{AFY} : temperatura media del agua fría de la localidad no conocida en °C

T_{AFCP} : temperatura media del agua fría de la capital de provincia en °C

B : 0,066 para los meses de octubre a marzo y 0,0033 para los meses de abril a septiembre

A_z : altura de la localidad – altura de la capital de provincia en m

La demanda de agua caliente sanitaria es,

$$D_i = N^{\circ} \text{ personas} \cdot Q \cdot N^{\circ} \text{ días} \quad (\text{Ec. 6.16})$$

Donde,

D_i : demanda mensual ACS en l/s

Q : consumo diario ACS persona en litros

Finalmente, la energía demandada,

$$E_i = c_{p_{\text{agua}}} \cdot D_i \cdot (T_{\text{ACS}} - T_{\text{AF}}) \quad (\text{Ec. 6.17})$$

Donde,

E_i : energía mensual consumida en kWh

$c_{p_{\text{agua}}}$: calor específico del agua $4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \frac{1 \text{ kWh}}{3600 \text{ kJ}}$

D_i : demanda mensual en l/s

T_{ACS} : temperatura de consumo del ACS en °C

T_{AF} : temperatura de suministro del agua fría en °C

Justificación de la bomba de calor para la producción de ACS

Para poder justificar la utilización de la bomba de calor sin aportación de energía solar térmica, las emisiones de CO₂ y la energía primaria deben de ser inferiores a las producidas con energía solar y un sistema de referencia formado por una caldera de gas natural con un rendimiento del 92%.

Los ratios de conversión que utilizaremos están extraídos del documento del IDAE “Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España – 14/1/2016”:

Tabla 6.31 Valores de energía primaria y emisiones de de CO₂. Fuente: elaboración propia.

	Energía primaria	kg CO ₂ /kWh
Gas natural	1,195	0,252
Electricidad	2,403	0,357

Para la determinación de los valores de energía primaria y emisiones de CO₂, se ha seguido lo establecido en las siguientes ecuaciones,

$$\text{Consumo} = \frac{E}{\eta_{(\text{caldera GN o BC})}} \quad (\text{Ec. 6.18})$$

Donde,

Consumo: consumo de gas o electricidad en kWh

E: energía anual consumida en kWh

$\eta_{(\text{caldera GN o BC})}$: rendimeinto de la caldera de gas natural o la bomba de calor en %

$$E_{\text{primaria}} = \text{consumo} \cdot EP \quad (\text{Ec. 6.19})$$

Donde,

E_{primaria}: energía primaria consumida en kWh

consumo: consumo de gas o electricidad en kWh

EP: factor de conversión de energía final a primaria

$$\text{Emisiones } CO_2 = \text{consumo} \cdot E_{CO_2} \quad (\text{Ec. 6.20})$$

Donde,

Emisiones CO₂: emisiones de CO₂ en kg

consumo: consumo de gas o electricidad en kWh

E_{CO₂}: factor de emisión de CO₂

A continuación, se muestran los resultados de la energía primaria y las emisiones que supondrían los sistemas formados por una caldera de gas y un sistema de energía solar térmica, y por la bomba de calor que se ha previsto para la producción térmica total de la vivienda, respectivamente.

Tabla 6.32 Consumo energía primaria y emisiones de CO₂ para gas + solar térmica. Fuente: elaboración propia.

Gas + Solar térmica	Demanda (kWh)	Contribución solar	Consumo gas (kWh)	Energía primaria (kWh)	Emisiones CO ₂ (kg)
ACS	2719,12	50%	1477,78	1765,95	372,40

Tabla 6.33 Consumo energía primaria y emisiones de CO₂ para bomba de calor. Fuente: elaboración propia.

Bomba calor	Demanda (kWh)	Contribución solar	Consumo eléctrico (kWh)	Energía primaria (kWh)	Emisiones CO ₂ (kg)
ACS	2719,12	400%	679,78	1633,51	242,68

Se observa que, tanto para la energía primaria como para las emisiones de CO₂, los valores obtenidos en el caso de la bomba de calor son inferiores a los del sistema de solar térmica y caldera de gas. Es decir, que queda justificada la utilización de la bomba de calor.

El rendimiento estacional de la bomba de calor aerotérmica se ha previsto según temperaturas medias mensuales. La temperatura media anual de Ibiza es de 16,5 °C.

6.3.2.2. Grupo de presión

Para impulsar el agua desde el depósito de acumulación hasta los puntos de consumo de la vivienda, se debe dimensionar el grupo de bombeo que proporcione la presión necesaria.

En la determinación de este valor, primero se deben calcular las pérdidas de carga de cada tramo. Una vez conocida la longitud total de cada uno de los tramos de tuberías que componen la instalación y los accesorios de estas; sumando las longitudes geométricas más las longitudes equivalentes de los accesorios [11], se procede a calcular dichas pérdidas.

El grupo de presión se dimensiona considerando que las pérdidas de carga que influyen en su cálculo son, principalmente, las debidas a la tubería de AFS, ya que el ACS consumido se produce de manera instantánea en la bomba de calor, la cual dispone en su interior de una bomba de recirculación para esta.

Tabla 6.34 Propiedades del agua. Fuente: elaboración propia.

Agua	Fría	Caliente
ρ (kg/m ³)	999,7	983,2
T (°C)	10	60
μ (kg/m·s)	$1,313 \cdot 10^{-03}$	$4,69 \cdot 10^{-04}$
ϑ (m ² /s)	$1,31 \cdot 10^{-06}$	$4,77 \cdot 10^{-07}$

$$h_f = f \cdot \frac{L \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot D} \quad (\text{Ec. 6.21})$$

Donde,

h_f : pérdida de carga en m. c. a

f : coeficiente de fricción (adimensional)

L : longitud de la tubería en m

v : velocidad del fluido en m/s

g : Gravedad 9,81 m/s²

D : diámetro del conducto en m

El valor del coeficiente de fricción, se calcula iterando mediante la ecuación de Colebrook-White,

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{0,25}{\left(\log \left[\frac{\varepsilon_r}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right] \right)^2} \quad (\text{Ec. 6.22})$$

Donde,

ε_r : rugosidad relativa del material (adimensional)

D : diámetro en m

Re : reynolds (adimensional)

Estos dos términos se calculan con las ecuaciones siguientes,

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (\text{Ec. 6.23})$$

Donde,

v : velocidad del fluido en m/s

ρ : densidad del fluido en kg/m³

D : diámetro en m

μ : viscosidad dinámica en kg/m · s

ϑ : viscosidad cinemática en m^2/s

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (\text{Ec. 6.24})$$

Donde,

ε : rugosidad absoluta del material en m

D : diámetro en m

A continuación, se muestran las pérdidas de carga obtenidas para cada uno de los ramales, así como las obtenidas para las tuberías principales.

Tabla 6.35 Pérdidas de carga en tubería principal de AFS. Fuente: elaboración propia.

Agua Fría Sanitaria-Tubería Principal								
Estancia	Aparato	Ud.	L geom. (m)	L eq. acc. (m)	L real eq. (m)	Re	f	Pérdida de Carga (m.c.a)
Baño 1	Inodoro	1	16,60	4,84	21,44	37254,73	0,0223	3,30
	Bidé	1						
	Lavabo	2						
	Bañera	1						
Baño 2	Inodoro	1	8,36	3,88	12,24	22601,75	0,0251	0,78
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Baño 3	Inodoro	1	2,65	2,18	4,83	11300,87	0,0299	0,09
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Cocina	Fregadero	2	11,27	2,66	13,93	35927,39	0,0225	2,01
	Lavavajillas	1						
Sala Técnica	Lavadora	1	1,85	1,70	3,55	7487,88	0,0334	0,03
Depósito	Depósito-Consumo	1	27,00	40,00	67,00	58366,11	0,0202	11,60

Tabla 6.36 Pérdidas de carga en tuberías secundarias de AFS. Fuente: elaboración propia.

Agua Fría Sanitaria-Tuberías Secundarias								
Estancia	Aparato	Ud.	L geom. (m)	L eq. acc. (m)	L real eq. (m)	Re	f	Pérdida de Carga (m.c.a)
Baño 1	Inodoro	1	5,95	13,05	19,00	18675,37	0,0263	1,79
	Bidé	1						
	Lavabo	2						
	Bañera	1						
Baño 2	Inodoro	1	4,60	10,15	14,75	14403,07	0,0281	0,88
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Baño 3	Inodoro	1	4,70	10,15	14,85	14403,07	0,0281	0,89
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Cocina	Fregadero	2	2,24	9,45	11,69	36246,43	0,0225	3,55
	Lavavajillas	1						
Sala Técnica	Lavadora	1	0,50	7,65	8,15	9543,38	0,0313	0,24

Tabla 6.37 Pérdidas de carga totales de AFS. Fuente: elaboración propia.

Agua Fría Sanitaria-Totales				
Estancia	Aparato	Unidades	Long. real equivalente (m)	Pérdida de Carga (m.c.a)
Baño 1	Inodoro	1	40,44	7,73
	Bidé	1		
	Lavabo	2		
	Bañera	1		
Baño 2	Inodoro	1	26,99	
	Lavabo	1		
	Ducha	1		
Baño 3	Inodoro	1	19,68	
	Lavabo	1		
	Ducha	1		
Cocina	Fregadero	2	25,62	5,83
	Lavavajillas	1		
Sala Técnica	Lavadora	1	11,70	
Depósito	Depósito-Consumo	1	67	11,60

Tabla 6.38 Pérdidas de carga en tubería principal de ACS. Fuente: elaboración propia.

Agua Caliente Sanitaria-Tubería Principal								
Estancia	Aparato	Ud.	L geom. (m)	L eq. acc. (m)	L real eq. (m)	Re	f	Pérdida de Carga (m.c.a)
Baño 1	Inodoro	-	16,55	4,84	21,39	77286,52	0,0190	3,32
	Bidé	1						
	Lavabo	2						
	Bañera	1						
Baño 2	Inodoro	-	8,17	3,88	12,05	44625,91	0,0214	0,70
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Baño 3	Inodoro	-	2,40	2,18	4,58	22312,96	0,0252	0,08
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Cocina	Fregadero	2	11,88	2,66	14,54	49248,37	0,0210	1,01
	Lavavajillas	1						
Sala Técnica	Lavadora	1	2,15	1,70	3,85	19626,95	0,0260	0,05

Tabla 6.39 Pérdidas de carga en tuberías secundarias de ACS. Fuente: elaboración propia.

Agua Caliente Sanitaria-Tuberías Secundarias								
Estancia	Aparato	Ud.	L geom. (m)	L eq. acc. (m)	L real eq. (m)	Re	f	Pérdida de Carga (m.c.a)
Baño 1	Inodoro	-	6,26	10,15	16,41	32660,61	0,0230	0,55
	Bidé	1						
	Lavabo	2						
	Bañera	1						
Baño 2	Inodoro	-	4,54	8,70	13,24	22312,96	0,0252	0,23
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Baño 3	Inodoro	-	4,68	8,70	13,38	22312,96	0,0252	0,23
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Cocina	Fregadero	2	2,10	9,45	11,55	29621,42	0,0236	0,33
	Lavavajillas	1						
Sala Técnica	Lavadora	1	0,50	7,65	8,15	19626,95	0,0260	0,11

Tabla 6.40 Pérdidas de carga totales de ACS. Fuente: elaboración propia.

Agua Caliente Sanitaria-Totales				
Estancia	Aparato	Unidades	Long. real equivalente (m)	Pérdida de Carga (m.c.a)
Baño 1	Inodoro	-	37,80	5,10
	Bidé	1		
	Lavabo	2		
	Bañera	1		
Baño 2	Inodoro	-	25,29	
	Lavabo	1		
	Ducha	1		
Baño 3	Inodoro	-	17,96	
	Lavabo	1		
	Ducha	1		
Cocina	Fregadero	2	26,09	1,50
	Lavavajillas	1		
Sala Técnica	Lavadora	1	12,00	

Mediante el Teorema de Bernoulli, se determina el valor total de las pérdidas de carga. Se han tomado como valores de partida los siguientes:

Tabla 6.41 Valores utilizados para Teorema de Bernoulli. Fuente: elaboración propia.

	Depósito de acumulación	Vivienda
Altura (m)	0	2
Velocidad del agua (m/s)	0	2,5
Presión (Pa)	101325	250000

Substituyendo estos valores en la ecuación de Bernoulli,

$$Z_d + \frac{v_d^2}{2g} + \frac{P_d}{\gamma} + w_o = Z_v + \frac{v_v^2}{2g} + \frac{P_v}{\gamma} + h_f \quad (\text{Ec. 6.25})$$

Donde los subíndices *d* y *v* significan, respectivamente, depósito y vivienda,

Z: altura en m

v: velocidad del fluido en m/s

P: presión en Pa

γ: peso específico en N/m³

w_o: pérdida de carga en m. c. a

h_f : pérdida de carga en las tuberías en m.c.a

El valor total de las pérdidas de carga, vendrá dado por el término w_o .

Tabla 6.42 Pérdida de carga total en las tuberías. Fuente: elaboración propia.

Agua Fría Sanitaria-Totales								
Estancia	Aparato	Ud.	D nom. interior tubería (mm)	D nom. interior tramo (mm)	Long. real equivalente (m)	Pérdida de Carga (m.c.a)	w _o (m)	
Baño 1	Inodoro	1	20,40	26,00	40,44	7,73	42,64	
	Bidé	1						
	Lavabo	2						
	Bañera	1						
Baño 2	Inodoro	1	20,40		26,99			
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Baño 3	Inodoro	1	20,40		19,68			
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Cocina	Fregadero	2	20,40	26,00	25,62	5,83		
	Lavavajillas	1						
Sala Técnica	Lavadora	1	20,40		11,70			
Depósito	Depósito-Consumo	1		32,60	67	11,60		

Con este valor, ahora se puede proceder al cálculo de la potencia necesaria para transportar el fluido hasta los puntos de consumo.

La determinación de la potencia de bombeo necesaria, se calcula mediante la siguiente ecuación,

$$P_n = \frac{P_b}{\eta} \quad (\text{Ec. 6.26})$$

Donde,

P_n : Potencia necesaria en W

P_b : Potencia bruta en W

Donde η obtiene un valor teórico de 65%, y P_b se calcula con la siguiente ecuación,

$$P_b = w_o \cdot \gamma \cdot Q = w_o \cdot \rho \cdot g \cdot Q \quad (\text{Ec. 6.27})$$

Donde,

w_o : pérdida de carga total en m.c.a

γ : peso específico en N/m^3

ρ : Densidad del agua en kg/m^3

g : Gravedad $9,81 m/s^2$

Q : Caudal Total en m^3/s

Utilizando los valores explicados en tablas anteriores, finalmente se obtiene que la potencia necesaria será de 1258 W.

6.3.2.2.1 Comprobación de la presión

Se debe asegurar que la presión en los puntos de consumo no supere el valor máximo permitido (500 kPa), es por eso que con el resultado obtenido del grupo de presión, se evalúa que en los puntos de consumo no se supere dicho valor.

El procedimiento seguido para la evaluar la presión en los puntos de consumo, es el que se ha seguido hasta este punto, pero al revés. Mediante la potencia necesaria, se calcula la presión disponible en las diferentes estancias. Por lo tanto, una vez más, el Teorema de Bernoulli descrito en la ecuación 6.26, es el cálculo llevado a cabo.

Tabla 6.43 Comprobación de presión disponible en los puntos de consumo. Fuente: elaboración propia.

Agua Fría Sanitaria-Totales								
Estancia	Aparato	Ud.	D nom. interior tubería (mm)	Di nom. interior tramo (mm)	L real eq. (m)	Pérdida de Carga (m.c.a)	w _o (m)	Presión disp. estándar. (Pa)
Baño 1	Inodoro	1	20,40	26,00	40,44	5,09	42,64	446810,91
	Bidé	1						
	Lavabo	2						
	Bañera	1						
Baño 2	Inodoro	1	20,40		26,99	1,66		480424,92
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Baño 3	Inodoro	1	20,40		19,68	0,98		487113,80
	Lavabo	1						
	Ducha	1						
Cocina	Fregadero	2	20,40	26,00	25,62	5,56		442251,40
	Lavavajillas	1						
Sala Técnica	Lavadora	1	20,40		11,70	0,27		
Depósito	Depósito-Consumo	1	-	32,60	67	11,6	-	

La presión disponible en la vivienda, toma valores próximos al máximo permitido, pero nunca lo sobrepasa. Con estos resultados se da por válido el grupo de presión calculado.

6.3.2.3. Depósito de acumulación

El volumen del depósito de acumulación se ha calculado en base a lo establecido en el apartado 4.5.2.1. "Cálculo del depósito auxiliar de alimentación" del Documento Básico HS4 del CTE.

$$V = Q \cdot 20 \cdot 60$$

(Ec. 6.28)

Donde,

V: volumen depósito acumulación el *l*

Q : caudal simultáneo acumulado en l/s

El valor obtenido es aproximadamente 924 litros.

Se instalará un depósito de capacidad superior (10000 litros) para asegurar 3 días de autonomía del depósito de acumulación, (el mismo número de días con el que se ha dimensionado la bancada de baterías de la instalación fotovoltaica con la que se impulsará el agua desde el depósito de acumulación hasta la vivienda), ya que la obtención de agua mediante la bomba hidráulica se realizará únicamente durante las horas de sol. De esta manera se asegura un suministro de agua ininterrumpido.

6.3.3. Exigencia de eficiencia energética

A continuación se realiza la justificación del DB-HE 0 "Limitación del consumo energético del CTE, que limita el consumo de energía primaria de un edificio en función de su zona climática.

La vivienda estudiada se encuentra en la isla de Ibiza, a una altitud de 202 m.s.n.m. Aplicando estos datos en la *Tabla B.1 Zonas climáticas de la Península Ibérica* del Apéndice B del DB-HE 1, obtenemos que la zona climática que le corresponde es la B3.

Cálculo de la demanda energética

La demanda anual para la producción de ACS ya ha sido obtenida anteriormente, en el apartado de Contribución solar para la producción de agua caliente sanitaria: 2719,12 kWh.

Se han calculado las demandas de calefacción y refrigeración con el software de Certificación Passivhaus PHPP, se han establecido las condiciones de cálculo del Estándar Passivhaus:

Tabla 6.44 Demandas de calefacción y refrigeración según PHPP. Fuente: elaboración propia.

Superficie (m ²)	Demanda anual calefacción (kWh)	Demanda anual refrigeración (kWh)
184,24	1189	2545

La demanda energética anual total será la siguiente:

Tabla 6.45 Demanda energética anual total. Fuente: elaboración propia.

ACS (kWh)	Calefacción (kWh)	Refrigeración (kW)	Total (kWh)
2719,12	1189	2545	6452,76

Se ha previsto un único sistema de producción térmica para calefacción/refrigeración y ACS, formado por una bomba de calor. La siguiente gráfica muestra la variación del rendimiento de la bomba de calor prevista en función de la temperatura exterior:

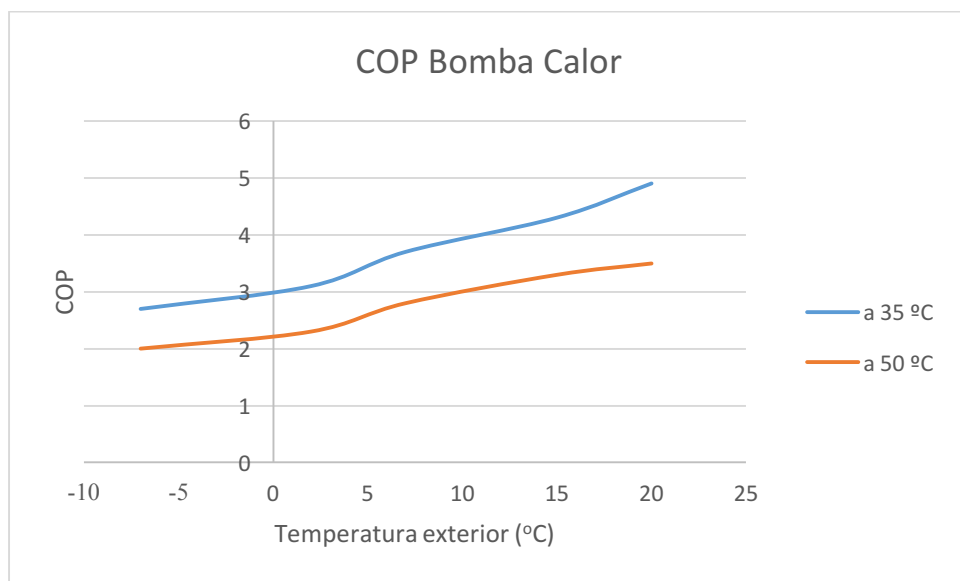


Gráfico 6.7 COP de la bomba de calor aerotérmico. Fuente: elaboración propia.

Para determinar el rendimiento medio de la bomba de calor, se ha tenido en cuenta que la temperatura media durante los meses de invierno en Ibiza es de unos 12 °C. Para esta temperatura el rendimiento de la bomba de calor estará entorno del 325% para una temperatura de suministro del agua de 50 °C.

Los ratios de conversión utilizados de energía primaria, son los utilizados en el apartado 6.3.2.1.2.1.

El consumo energético de energía primaria no renovable del edificio no debe superar el valor límite $C_{ep,lim}$ [6] obtenido mediante la siguiente expresión:

$$C_{ep,lim} = C_{ep,base} + \frac{F_{ep,sup}}{S} \quad (\text{Ec. 6.29})$$

Donde,

$C_{ep,lim}$: valor límite del consumo energético de energía primaria no renovable para los servicios de calefacción, refrigeración y ACS en kWh/m²año

$C_{ep,base}$: valor base del consumo energético de energía primaria no renovable dependiente de la zona climática en kWh/m²año

$F_{ep,sup}$: factor corrector por superficie

S : superficie útil de los espacios habitables de la vivienda en m²

El valor base de consumo energético de energía primaria ($C_{ep,base}$) y el factor corrector por superficie ($F_{ep,sup}$) se obtienen de la *Tabla 2.1 Valor base y factor corrector por superficie del consumo energético* del DB-HE 0 "Limitación del consumo energético" del CTE, en función de la zona climática, ya que el edificio se encuentra en las Islas Baleares, el $C_{ep,base}$ se tiene que

multiplicar por el factor 1,2:

Tabla 6.46 Valor base y factor corrector del consumo energético. Fuente: DB-HE0. [6]

	Zona climática de invierno					
	α	A*	B*	C*	D	E
$C_{ep,base} [kW \cdot h/m^2 \cdot año]$	40	40	45	50	60	70
$F_{ep,sup}$	1000	1000	1000	1500	3000	4000

Según estos datos, los valores límites de consumo de energía primaria por vivienda serán los siguientes:

Tabla 6.47 Valor límite de consumo de energía primaria. Fuente: elaboración propia.

Superficie (m^2)	$C_{ep,lim} (kWh/m^2 \text{ año})$
184,24	50,43

Los consumos de energía primaria según los datos de demanda determinados anteriormente serán:

Tabla 6.48 Consumo de energía primaria. Fuente: elaboración propia.

Demanda (kWh/año)	Rendimiento	Consumo (kWh)	S (m^2)	Consumo ($kWh/m^2 \text{ año}$)	Consumo EP ($kWh/m^2 \text{ año}$)
6452,76	325%	1985,47	184,24	10,78	25,90

Se observa como los valores de consumo de energía primaria obtenidos son inferiores a los valores límites calculados en la tabla anterior, es decir se justifica el cumplimiento de la normativa.

6.3.4. Equipos utilizados

La maquinaria para el suministro de agua será la siguiente.

Bomba hidráulica

El dimensionado de la bomba hidráulica utilizada se realiza en el apartado de abastecimiento energético. Sin embargo, a continuación se muestra la bomba a utilizar y sus características técnicas.

La bomba utilizada es sumergible, y es la encargada de bombear el agua del pozo según los caudales establecidos en el apartado en la que se dimensiona.



Figura 6.8 Bomba hidráulica sumergible. Fuente: <http://www.bombasideal.com>. [2]

Tabla 6.49 Características técnicas de la bomba sumergible. Fuente: elaboración propia.

Característica	Valor
Marca	Ideal
Modelo	SJI 12
Potencia (W)	750
Caudal máximo (l/min)	17
Altura a dicho caudal (m)	91
Dimensiones (mm)	95x548x934

Sistema de filtrado

En primer lugar se le realiza un proceso de filtrado mediante el sistema Optimax de Graf, y a continuación, se conduce al depósito de acumulación de agua.



Figura 6.9 Sistema de filtrado de agua. Fuente: <http://www.grafiberica.com>. [14].

Tabla 6.50 Características técnicas sistema filtrado. Fuente: elaboración propia.

Característica	Valor
Marca	Graf
Modelo	Optimax- Arqueta
Superficie recogida (m ²)	350-750
Malla de filtración (mm)	0,35
Autolimpiable	Sí

Depósito de acumulación

El depósito tiene una capacidad de 10.000 l que se encuentra enterrado en la finca, ubicado según los planos.



Figura 6.10 Depósito de acumulación de Graf. Fuente: <http://www.grafiberica.com>. [15]

Este depósito acumula el agua y queda conectado al grupo de bombeo que se encuentra en una construcción enterrada cercana a la vivienda (ver planos) y que permitirá conducir el agua hacia la vivienda, salvando la altura entre la caseta semienterrada y aportando presión a la red.

Tabla 6.51 Características técnicas depósito acumulación. Fuente: elaboración propia.

Característica	Valor
Marca	Graf
Modelo	Carat XL
Capacidad (l)	10.000
Dimensiones (mm)	3500x2040x2695
Peso (kg)	380

Grupo de bombeo

El grupo de bombeo se compone de dos bombas multi-etapa verticales de velocidad variable, conectadas en paralelo que garantizan presión y caudal constantes.



Figura 6.11 Grupo de presión. Fuente: <http://www.ebara.es>. [8]

Tabla 6.52 Características técnicas del grupo de presión. Fuente: elaboración propia.

Característica	Valor
Marca	Ebara
Modelo	CVM AM/10
Potencia (W)/bomba	750
Caudal máximo (m ³ /h)	7,2
Altura a dicho caudal (m)	36,6
Dimensiones (mm)	255x550x300

Tratamiento UV

Este dispositivo utiliza la luz ultravioleta para destruir los microorganismos nocivos atacando su base genética mediante una dosis de luz determinada que elimina su capacidad de reproducción y acaban muriendo. Esta purificación no añade ningún producto químico al agua y no afecta al sabor u olor.

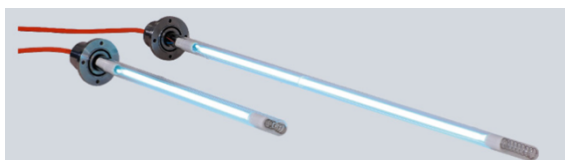


Figura 6.12 Tratamiento UV. Fuente: <http://www.uvcp-es.com>. [16]

Bomba de calor aerotérmica

Explicada en el apartado de *Climatización*.

Tuberías de agua

Las tuberías utilizadas en la instalación serán de sección circular y polietileno reticulado de la casa TIEMME [36]. Las secciones utilizadas serán de 25x2,3 mm siendo el diámetro interior de 20,4 mm, de 32x3,0 mm, diámetro interior de 26,00 mm, y de 40x3,7 mm y 32,6 mm interiores.

Los encargados del transporte de ACS, estarán aislados térmicamente gracias a una espuma elastotérmica aislante de 19 mm de espesor de la casa Armafelx.

6.3.5. Plano instalación conductos suministro de agua

6.4. Saneamiento

6.4.1. Descripción de la instalación

Se realiza una red de saneamiento para la recogida de aguas residuales.

Las aguas residuales de la vivienda se canalizarán mediante conducto de PVC hacia un equipo de depuración y acumulación para poder recuperarlas y usar para el riego de la zona ajardinada.

6.4.2. Red de evacuación de aguas residuales

6.4.2.1. Red de pequeña evacuación

Todos los aparatos incluirán sifones individuales procurando que su cierre hidráulico tenga como mínimo 50 mm de altura y no quede estrangulado, las pendientes de las derivaciones serán del 2% y nunca menores al 1%[7]. Serán auto-limpiables con superficies interiores lisas y de fácil registro. Se instalarán lo más cerca posibles a la válvula de desagüe del aparato. Los diámetros de los colectores, no deberán ser menores que los de las derivaciones individuales. Los desagües de la lavadora y el lavavajillas se dimensionarán para poder soportar altas temperaturas.

Se han considerado los aparatos siguientes y se ha calculado el diámetro de los sifones y derivaciones individuales según la *Tabla 4.1 Unidades correspondientes a los diferentes aparatos sanitarios* del DB-HS 5 “Evacuación de aguas” del CTE:

Tabla 6.53 Unidades de desagüe y diámetro de las derivaciones individuales de cada aparato.

Fuente: elaboración propia.

Estancia	Aparato	Ud	Ud de desagüe(UD)	D. deriv. Ind. (mm)
Baño 1	Inodoro	1	4	100
	Bidé	1	2	32
	Lavabo	2	2	32
	Bañera	1	3	40
Baño 2	Inodoro	1	4	100
	Lavabo	1	1	32
	Ducha	1	2	40
Baño 3	Inodoro	1	4	100
	Lavabo	1	1	32
	Ducha	1	2	40
Cocina	Fregadero	2	3	40
	Lavavajillas	1	3	40
Sala Técnica	Lavadora	1	3	40
	Máq. Ventilación	1	6	100
TOTAL			40	

Las derivaciones individuales del Baño 1 se conectarán directamente al ramal colector de 100 mm de diámetro emplazado en dicho baño, calculado mediante la *Tabla 4.3 Diámetros de ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajante* del DB-HS5 “Evacuación de aguas” del CTE.

Las derivaciones individuales del Baño 2 se conectarán directamente al colector de 100 mm de diámetro emplazado en dicho baño, calculado mediante la *Tabla 4.3 Diámetros de ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajante* del DB-HS5 “Evacuación de aguas” del CTE.

Las derivaciones individuales del Baño 3 se conectarán directamente al colector de 100 mm de diámetro emplazado en dicho baño, calculado mediante la *Tabla 4.3 Diámetros de ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajante* del DB-HS5 “Evacuación de aguas” del CTE.

Las derivaciones de la cocina se conectarán al colector de 50 mm de diámetro emplazado en dicha cocina, calculado mediante la *Tabla 4.3 Diámetros de ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajante* del DB-HS5 “Evacuación de aguas” del CTE.

Las derivaciones de la sala técnica se conectarán al colector de 100 mm de diámetro emplazado en dicha sala técnica, calculado mediante la *Tabla 4.3 Diámetros de ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajante* del DB-HS5 “Evacuación de aguas” del CTE.

6.4.2.1.1 Colectores de los baños

Los 3 colectores en los baños, el de la sala técnica y el situado en la cocina, recogen las aguas de saneamiento de la vivienda. Dichos colectores se realizarán mediante un tramo vertical, sin desviaciones y con diámetro uniforme de 100 mm para baños y cuarto técnico y 50 mm para cocina, calculado mediante la *Tabla 4.4 Diámetro de las bajantes según el número de alturas del edificio y el número de UD*, del DB-HS 5 del CTE. Una vez traspase la losa de cimentación se dirigirá al colector general de la vivienda mediante un tramo horizontal enterrado. Dicho tramo horizontal se ha calculado mediante la *Tabla 4.5 Diámetros de los colectores horizontales en función del número máximo de UD y la pendiente adoptada*, DB-HS 5 del CTE, adoptando una pendiente del 2%.

6.4.2.1.2 Colector general

El colector general será 150 mm de diámetro, discurrirá enterrado con una pendiente del 2%, constante. Se ha calculado mediante la *Tabla 4.5 Diámetros de los colectores horizontales en función del número máximo de UD y la pendiente adoptada*, DB-HS 5 del CTE.

Dicho colector desembocará a un dispositivo de recuperación de aguas que las tratará para que sean aptas para el riego. Una vez tratadas se recircularán a un depósito de capacidad para 4.800 l donde se almacenarán para el riego.

El sistema dispone en su totalidad de 5 arquetas de paso, dispuestas según normativa, a menos de 15 m lineales de distancia.

6.4.2.1.3 Recuperación de aguas residuales

La red de evacuación de aguas residuales se conectará a un depósito de acumulación, ubicado

según planos, con el objetivo de depurar estas aguas y poder reutilizarlas para riego de la parcela.

Depósito de acumulación

Dicho depósito irá precedido del sistema de depuración de aguas residuales. Se ha optado por un sistema de depuración compacto de Graf, concretamente el sistema “one2clean” con capacidad de depuración para una vivienda con 4-5 habitantes.



Figura 6.13 Depósito acumulación aguas residuales tratadas. Fuente: grafiberica.com. [14]

Tabla 6.54 Características técnicas depósito acumulación. Fuente: elaboración propia.

Característica	Valor
Marca	Graf
Modelo	Carat S
Capacidad (l)	4.800
Dimensiones (mm)	3280x1985x2430
Peso (kg)	185

El sistema de depuración consta de un solo depósito de 3.750 litros dónde se lleva a cabo el proceso de depuración de las aguas residuales y, una vez se ha llevado a cabo el proceso, el agua depurada se almacena en el tanque enterrado descrito anteriormente.

Sistema de depuración

El proceso de depuración del agua es el siguiente:

- El agua llena el depósito de depuración y, mediante un proceso de oxidación, se activan los microorganismos que realizan la depuración del agua.
- Al finalizar el proceso de oxidación se decanta el agua mediante gravitación, quedando el agua depurada en la parte superior de la cámara de depuración.

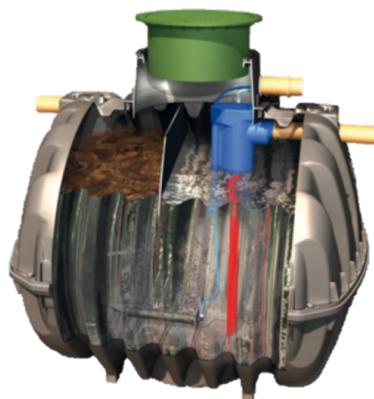


Figura 6.14 Sistema de depuración de aguas residuales. Fuente: grafiberica.com. [14]

Tabla 6.55 Características técnicas del sistema de depuración. Fuente: elaboración propia.

Característica	Valor
Marca	Graf
Modelo	One2clean
Capacidad (l)	3.750
Dimensiones (mm)	2315x1790x1729
Peso (kg)	150

6.4.3. Plano instalación conductos saneamiento

6.5. Electricidad

6.5.1. Características de la instalación

La alimentación de la instalación eléctrica provendrá de un generador fotovoltaico instalado en la propia vivienda.

Tabla 6.56 Características del generador fotovoltaico. Fuente: elaboración propia.

GENERADOR FOTOVOLTAICO	
Número de paneles	40
Potencia pico del generador (kWp)	10,2

La instalación consta de un cuadro general de distribución con una protección general y protecciones para los circuitos derivados. Los dispositivos de protección que lo componen son:

- Un interruptor automático magnetotérmico general y para la protección contra intensidades (IGA).
- Interruptores diferenciales para la protección contra contactos indirectos (ID).
- Interruptores automáticos magnetotérmicos para la protección de los circuitos derivados (PIA).

El grado de electrificación de la vivienda es elevada, ya que se trata de una vivienda con una superficie de referencia mayor a 160 m^2 ($A_{\text{SRE}} = 184,24 \text{ m}^2$). La potencia máxima admisible del cuadro eléctrico general ha sido prevista de 14,49 kW, valor de potencia máxima a suministrar en redes monofásicas establecida por la ITC-BT-10.

Las potencias instaladas de los circuitos previstos son las siguientes:

Tabla 6.57 Potencia total prevista. Fuente: elaboración propia.

Circuito	P (W)
C1 - Ventilación	1000
C2.1 - Bomba impulsión	1500
C2.2 - Bomba calor	2000
C3.1 - Alumbrado interior (sc/c/e)	300
C3.2 - Tomas corriente (sc/e)	3450
C3.4 - Cocina / Horno	5400
C3.4 - Lavadora	2300
C3.5 - Lavavajillas / Campana extractora	3000
C3.6 - Nevera	1000
C4.1 - Alumbrado interior (est/p/habs)	300
C4.2 - Tomas corriente (est/p/habs)	3450
C.4.3 - Persianas	2000
C4.4 - Alumbrado interior (baños/caseta/salaT)	300
C.4.5 - Tomas corriente (baños/c)	3450
C.4.6 - Tomas corriente (salaT/caseta/ext)	3450
C5 - Estación depuradora	3000
POTENCIA TOTAL INSTALADA	35900

La potencia máxima disponible serán los 14,49 kW impuestos por la ITC-BT-10.

En conductor que realizará la conexión entre el Cuadro General de Mando y Protección y el generador fotovoltaico será enterrado, y las derivaciones individuales, serán en tubo empotrado en obra. El tipo de línea de alimentación será de cobre omnipolar H07RN-F 3G 1.5 con una tensión asignada de 450/750 V.

Tabla 6.58 Propiedades del cobre a 20°C. Fuente: PDF IEEEN - ESF 3 "Dimensionado del Cableado Necesario para la Instalación".[22]

PROPIEDADES MATERIAL COBRE A 20°C	
Conductividad material ($\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$)	59,50
Resistividad material ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	0,0168

6.5.2. Instalación de conexión a tierra

La instalación de puesta a tierra de la obra se hará de acuerdo a la reglamentación vigente, en este caso la instrucción 18 del REBT. El valor obtenido de la resistividad del terreno ha sido tomado de la *Tabla 4. Valores medios aproximados de la resistividad en función del terreno.*

Tabla 6.59 Características conexión a tierra. Fuente: elaboración propia.

Tipo de electrodo	Geometría	Resistividad del Terreno (ρ)	Resistencia de Tierra en Ohm
Conductor horizontal enterrado	$L = 70 \text{ m}$	$500 \Omega \cdot \text{m}$	$R = 2 \cdot \frac{\rho}{L}$

El conductor horizontal enterrado será de cobre desnudo de 35 mm^2 de sección, enterrado en la cimentación de la vivienda con una longitud de 70 metros, con lo cual la resistencia de la conexión de puesta a tierra tendrá un valor de $14,3 \Omega$.

Los conductores de protección de las derivaciones se tienden por la misma canalización que sus correspondientes circuitos.

6.5.3. Cálculo

Al ser una instalación monofásica, la formulación utilizada para el cálculo del cableado será la correspondiente a este tipo de disposición. Los parámetros necesarios para determinar los conductos a instalar son: la intensidad nominal que atraviesa el circuito, la caída de tensión admisibles, y la sección requerida.

La intensidad se determina en función de la potencia y tensión del circuito. Esta corriente se calcula con un margen de seguridad del 25%, garantizando que la instalación no trabaje al 100% de su capacidad.

$$I = 1,25 \cdot \frac{P}{U_f} \quad (\text{Ec. 6.30})$$

Donde,

I : intensidad nominal del circuito en A

P : potencia del circuito en W

U_f : tensión de funcionamiento en V

En los circuitos interiores de la instalación, la caída de tensión no superará el 3% impuestos por la instrucción 19 del REBT.

$$R = \frac{U}{I} = \rho \cdot \frac{2L}{S} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{2L}{S} \quad (\text{Ec. 6.31})$$

Donde,

R: resistencia eléctrica total de la línea en Ω

U: c.d. t total de la línea en V

I: corriente que atraviesa la línea en A

ρ : resistividad del material eléctrico en $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

L: longitud del cableado en m

S: sección del cableado en mm^2

σ : conductividad del material eléctrico en $\text{m}/\Omega\text{mm}^2$

Conociendo la caída de tensión impuesta, así como las características del material eléctrico utilizado, se aísla de esta última ecuación la sección del cableado, y se calcula su valor.

Los resultados finalmente obtenidos son los mostrados en las siguientes tablas.

Tabla 6.60 Secciones mínimas normalizadas obtenidas. Fuente: elaboración propia.

Circuito	P (W)	Vnom (V)	AV (%)	U (V)	Longitud (m)	Corriente I (A)	Secc. Obtenida (mm2)	Secc. Min. Norm. (mm2)
C1 - Ventilación	1000	230	3%	6,9	7	5,43	0,19	6
C2.1 - Bomba impulsión	1500	230	3%	6,9	15	8,15	0,60	6
C2.2 - Bomba calor	2000	230	3%	6,9	7	10,87	0,37	6
C3.1 - Alumbrado interior (sc/c/e)	300	230	3%	6,9	15	1,63	0,12	1,5
C3.2 - Tomas corriente (sc/e)	3450	230	3%	6,9	7	18,75	0,64	2,5
C3.4 - Cocina / Horno	5400	230	3%	6,9	25	29,35	3,57	6
C3.4 - Lavadora	2300	230	3%	6,9	3	12,50	0,18	4
C3.5 - Lavavajillas / Campana extractora	3000	230	3%	6,9	10	16,30	0,79	4
C3.6 - Nevera	1000	230	3%	6,9	25	5,43	0,66	2,5
C4.1 - Alumbrado interior (est/p/habs)	300	230	3%	6,9	15	1,63	0,12	1,5
C4.2 - Tomas corriente (est/p/habs)	3450	230	3%	6,9	20	18,75	1,83	1,5
C4.3 - Persianas	2000	230	3%	6,9	15	10,87	0,79	2,5
C4.4 - Alumbrado interior (baños/caseta/salaT)	300	230	3%	6,9	15	1,63	0,12	1,5
C4.5 - Tomas corriente (baños/c)	3450	230	3%	6,9	20	18,75	1,83	2,5
C4.6 - Tomas corriente (salaT/caseta/ext)	3450	230	3%	6,9	20	18,75	1,83	2,5
C5 - Estación depuradora	3000	230	3%	6,9	20	16,30	1,59	6

Tabla 6.61 Tipo de canalización e intensidades de los interruptores automáticos. Fuente: elaboración propia.

Circuito	P (W)	Tipo conductor	Tensión Nominal	Tipo canalización	Diámetro tubo (mm)	Sección neutro (mm ²)	Interruptor automático (A)
C1 - Ventilación	1000	Cu	450/750 V	Tubo empotrado	25	6	25,00
C2.1 - Bomba impulsión	1500	Cu	450/750 V	Tubo enterrado	25	6	25,00
C2.2 - Bomba calor	2000	CU	450/750 V	Tubo empotrado	25	6	25,00
C3.1 - Alumbrado interior (sc/c/e)	300	Cu	450/750 V	Tubo empotrado	16	1,5	10,00
C3.2 - Tomas corriente (sc/e)	3450	Cu	450/750 V	Tubo empotrado	20	2,5	16,00
C3.4 - Cocina / Horno	5400	Cu	450/750 V	Tubo empotrado	25	6	25,00
C3.4 - Lavadora	2300	Cu	450/750 V	Tubo empotrado	20	4	20,00
C3.5 - Lavavajillas / Campana extractora	3000	Cu	450/750 V	Tubo empotrado	20	4	20,00
C3.6 - Nevera	1000	Cu	450/750 V	Tubo empotrado	20	2,5	20,00
C4.1 - Alumbrado interior (est/p/habs)	300	Cu	450/750 V	Tubo empotrado	16	1,5	10,00
C4.2 - Tomas corriente (est/p/habs)	3450	Cu	450/750 V	Tubo empotrado	20	1,5	16,00
C.4.3 - Persianas	2000	Cu	450/750 V	Tubo empotrado	15	2,5	20,00
C4.4 - Alumbrado interior (baños/caseta/salaT)	300	Cu	450/750 V	Tubo empotrado	16	1,5	10,00
C.4.5 - Tomas corriente (baños/c)	3450	Cu	450/750 V	Tubo empotrado	20	2,5	16,00
C.4.6 - Tomas corriente (salaT/caseta/ext)	3450	Cu	450/750 V	Tubo empotrado	20	2,5	16,00
C5 - Estación depuradora	3000	Cu	450/750 V	Tubo empotrado	25	6	25,00

6.5.4. Plano instalación distribución eléctrica

7. Abastecimiento energético

7.1. Introducción

La vivienda diseñada en este trabajo se encuentra desconectada tanto de la red eléctrica como de la red de agua. Es por eso que el abastecimiento energético se realizará en su totalidad mediante energía renovable; en este caso y, debido a la ubicación de la vivienda, mediante la energía solar.

En este capítulo se determina la instalación fotovoltaica necesaria para abastecer las necesidades energéticas de la vivienda. Este abastecimiento se determina para dos instalaciones diferentes: para la vivienda y sus consumos; electrodomésticos, ventilación, climatización, iluminación y abastecimiento de agua desde el depósito de acumulación, y para la instalación que abastecerá la bomba que obtendrá el agua mediante el pozo encontrado en la finca.

Las dos instalaciones productoras de energías serán:

- Instalación fotovoltaica para la vivienda que dispone de un conjunto de baterías de almacenamiento para abastecer la vivienda durante los días sin sol.
- Instalación fotovoltaica para la obtención de agua mediante el pozo. Esta no dispone de un conjunto de almacenamiento de energía, ya que su funcionamiento se realizará únicamente durante las horas pico solares del día.

La instalación fotovoltaica estará compuesta por los elementos generadores de energía (paneles fotovoltaicos), un regulador para proporcionar la tensión nominal deseada, un conjunto de baterías para abastecer la vivienda durante la noche o en caso de ausencia de sol (en caso de ser necesarias), y un inversor que obtendrá la corriente proveniente del regulador o baterías, según el momento, y que producirá la corriente alterna utilizada en la vivienda, con una tensión de salida de 230 voltios.

Los paneles fotovoltaicos se ubicarán sobre el techo de la vivienda, dejando una separación entre ellos de 2,35 metros para que no se produzcan sombras. El resto de los elementos de las instalaciones fotovoltaicas se ubicarán en el interior de la caseta anexa a la vivienda, es decir, estarán resguardadas de las condiciones meteorológicas.

7.2. Componentes utilizados

Los componentes de generación utilizados son únicamente los paneles fotovoltaicos.

Tal y como se ha explicado con anterioridad, no se utiliza la tecnología solar térmica para la producción del ACS consumido en la vivienda, ya que esta se producirá mediante una bomba de calor aerotérmica que tiene un menor consumo de energía primaria para producir la energía calorífica necesaria, y consecuentemente, menor impacto ambiental debido a su baja producción de CO₂.

El módulo solar fotovoltaico elegido es del fabricante AXITEC, el modelo AC-255P/156-60S, y se caracteriza por su elevada eficiencia. A continuación se muestran sus características principales:

Tabla 7.1 Características eléctricas del panel fotovoltaico. Fuente: Ficha técnica AXITEC. [1]

Tipo	Potencia nominal P _{mpp}	Tensión nominal U _{mpp}	Corriente nominal I _{mpp}	Corriente de cortocircuito I _{sc}	Tensión de circuito abierto U _{oc}
AC-250P/156-60S	250 Wp	30,70 V	8,18 A	8,71 A	37,80 V
AC-255P/156-60S	255 Wp	30,80 V	8,30 A	8,84 A	37,92 V
AC-260P/156-60S	260 Wp	30,92 V	8,43 A	9,01 A	38,00 V
AC-265P/156-60S	265 Wp	30,98 V	8,60 A	9,20 A	38,16 V

Tiene unas dimensiones de 1640 x 992 x 40 mm y está compuesto por 60 células policristalinas. La cubierta frontal es de cristal blanco templado de 3,2 mm de baja reflexión.

7.3. Demanda energética

7.3.1. Demanda eléctrica

El dimensionado de la instalación fotovoltaica necesaria para abastecer las necesidades energéticas de la vivienda estudiada, se realiza a partir de los consumos energéticos de esta. A continuación se muestra a modo ejemplo, los resultados obtenidos para el mes de enero.

Tabla 7.2 Consumo eléctrico para el mes de enero. Fuente: elaboración propia.

Elemento consumidor	Nº	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Coef. Uso	Horas día	Consumo diario (kWh)	Consumo mensual (kWh)
Luces	52	16	832	0,7	8	4,66	144,44
Luces exterior	10	6	60	0,2	1	0,01	0,37
TV	1	96	96	0,6	4	0,23	7,14
Ordenador	1	250	250	0,5	4	0,50	15,50
Horno	1	2990	2990	0,2	0,5	0,30	9,27
Campana extractora	1	278	278	0,2	1	0,06	1,72
Fuego cocina	1	5750	5750	0,3	1,5	2,59	80,21
Lavadora	1	2300	2300	0,5	1	1,15	35,65
Lavavajillas	1	2400	2400	0,2	0,5	0,24	7,44
Nevera + Congelador	1	100	100	1	24	2,40	74,40
Ventilación	1	80	80	0,7	24	1,34	41,66
Bomba agua	1	1500	1500	0,4	12	0,22	6,70
Bomba calor calef/refrg	1					13,72	425,21
Bomba calor ACS	1					8,18	253,61
TOTAL			16636			27,41	958,89

El detalle del consumo para los meses restantes, se encuentra en formato electrónico en el EXCEL “demanda_ eléctrica”.

En la Tabla 7.3 se resumen los consumos calculados para cada uno de los meses.

Tabla 7.3 Consumo eléctrico de la vivienda para cada mes. Fuente: elaboración propia.

Mes	Consumo diario (kWh)	Consumo mensual (kWh)
Enero	27,41	958,89
Febrero	32,64	946,64
Marzo	27,62	856,28
Abril	22,90	686,97
Mayo	20,97	650,10
Junio	20,65	619,43
Julio	29,70	920,76
Agosto	32,84	1017,91
Septiembre	20,63	581,69
Octubre	20,77	643,74
Noviembre	23,12	693,56
Diciembre	32,42	972,64
Anual		9548,62

En el Gráfico 7.1 se observa como en los meses de verano, julio y agosto, el consumo se dispara superando los 1000 kWh. Este aumento es consecuencia de la demanda de refrigeración y deshumidificación para satisfacer las necesidades de la vivienda.

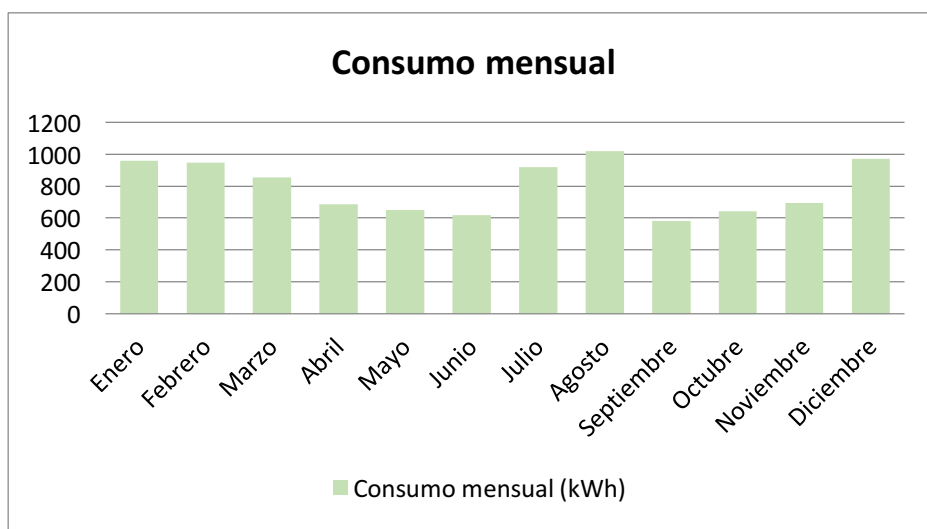


Gráfico 7.1 Consumo eléctrico de la vivienda para cada mes. Fuente: elaboración propia.

7.3.2. Demanda agua

La instalación fotovoltaica dimensionada tiene que extraer el agua necesaria para las 5 personas de

la vivienda. Cada persona consume de media al día 125 litros [22]. Es por eso que el sistema dimensionado deberá aportar la energía necesaria para extraer 625 litros al día.

Este volumen de agua será almacenado en el depósito subterráneo, y será la consumida en la vivienda.

7.4. Dimensionado del sistema de captación para el consumo eléctrico de la vivienda

La determinación del número de paneles solares necesarios para abastecer las necesidades de la vivienda, se ha realizado mediante los dos métodos de cálculo estudiados en la asignatura de *Integración de la Energía* impartida en el sexto cuatrimestre de carrera. Los métodos de cálculo son:

- Criterio del mes crítico. Mediante el cual se intenta optimizar la relación entre consumo/radiación cada mes, y utilizar los datos del mes más desfavorable para el dimensionado del campo solar.
- Criterio de la máxima captación energética anual. Mediante el cual se intenta optimizar la relación entre consumo/radiación a lo largo de todo un año teniendo en cuenta la radiación solar global media anual.

Con la utilización de ambos sistemas se determina la inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos. Utilizando el primer criterio, el dimensionado obtiene un mayor número de paneles fotovoltaicos que no con el segundo, ya que se dimensiona para el mes más desfavorable.

Los resultados que se explican a continuación, son los obtenidos mediante el criterio del mes crítico, ya que al ser una instalación solar aislada utilizada durante todos los meses del año, se garantiza el suministro continuo incluso durante los meses más desfavorables. Además, el número total de paneles necesarios mediante ambos criterios no dista mucho el uno del otro.

7.4.1. Sistema de captación

La instalación fotovoltaica está compuesta por un campo solar responsable de generar la energía, y un conjunto de elementos encargados de proporcionar la electricidad en sus condiciones de consumo. Estos elementos son regulador, baterías e inversor.

La vivienda diseñada tendrá una potencia de unos 16.700 W , superior a 5 kW, es por eso que se escoge una tensión nominal de diseño de 120 voltios [22]. De esta manera se garantiza no sobredimensionar el campo solar.

Para la determinación de la inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos se seguirá el criterio del mes crítico. En primer lugar se debe calcular el cociente entre el consumo mensual (kWh) y la radiación solar de cada mes (kWh/m^2). Al tratarse de una instalación utilizada durante todo el año, la inclinación óptima debería coger un valor de unos 10° por encima de la latitud de la vivienda.

Una vez realizado este cociente, se escoge el valor máximo para cada inclinación analizada, y de

entre estos valores máximos, se termina utilizando el mínimo para el dimensionado del campo solar, asegurando así el adecuado abastecimiento para el mes más desfavorable.

Para realizar estos cocientes es necesario conocer los valores de radiación solar para cada inclinación y el consumo total de energía eléctrica de la instalación. El primer dato requerido se ha obtenido del portal web de *PVGIS* [26], en el cual se ha introducido la ubicación de la vivienda, así como las inclinaciones necesarias para realizar el cálculo; están han desde los 25º hasta los 70º. Los valores del consumo total de energía eléctrica de la instalación son los mostrados en la Tabla 7.3.

A continuación se muestran las tablas referentes a la radiación solar global obtenida para cada inclinación, y el resultado obtenido del cociente entre el consumo diario de cada mes y la radiación.

Tabla 7.4 Radiación solar global para diferentes inclinaciones. Fuente: elaboración propia.

Mes	Radiación solar global (kWh/m ² día)									
	25º	30º	35º	40º	45º	50º	55º	60º	65º	70º
Enero	3,69	3,89	4,07	4,22	4,34	4,43	4,49	4,53	4,56	4,50
Febrero	4,67	4,85	5,01	5,14	5,23	5,28	5,30	5,29	5,24	5,15
Marzo	6,14	6,26	6,34	6,38	6,38	6,34	6,26	6,14	5,98	5,78
Abril	6,48	6,48	6,43	6,35	6,22	6,06	5,86	5,62	5,35	5,04
Mayo	7,06	6,94	6,78	6,58	6,35	6,07	5,76	5,42	5,04	4,64
Junio	7,47	7,29	7,06	6,79	6,48	6,14	5,76	5,35	4,91	4,45
Julio	7,58	7,42	7,21	6,96	6,67	6,34	5,98	5,58	5,14	4,68
Agosto	7,07	7,02	6,92	6,78	6,60	6,38	6,12	5,82	5,48	5,11
Septiembre	6,00	6,07	6,11	6,10	6,06	5,98	5,86	5,70	5,50	5,27
Octubre	5,06	5,22	5,35	5,45	5,51	5,53	5,52	5,47	5,38	5,26
Noviembre	3,75	3,94	4,09	4,23	4,33	4,41	4,46	4,47	4,48	4,42
Diciembre	3,35	3,55	3,73	3,88	4,01	4,11	4,18	4,22	4,23	4,22
Medio anual	5,70	5,75	5,76	5,74	5,68	5,59	5,46	5,30	5,11	4,87

Tabla 7.5 Cociente entre consumo diario y radiación solar global. Fuente: elaboración propia.

Mes	Consumo diario (kWh/día) /Radiación solar global (kWh/m ² día)									
	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°
Enero	7,43	7,05	6,73	6,50	6,32	6,19	6,10	6,05	6,01	6,09
Febrero	6,99	6,73	6,52	6,35	6,24	6,18	6,16	6,17	6,23	6,34
Marzo	4,50	4,41	4,36	4,33	4,33	4,36	4,41	4,50	4,62	4,78
Abril	3,53	3,53	3,56	3,61	3,68	3,78	3,91	4,07	4,28	4,54
Mayo	2,97	3,02	3,09	3,19	3,30	3,45	3,64	3,87	4,16	4,52
Junio	2,76	2,83	2,92	3,04	3,19	3,36	3,58	3,86	4,21	4,64
Julio	3,92	4,00	4,12	4,27	4,45	4,68	4,97	5,32	5,78	6,35
Agosto	4,64	4,68	4,75	4,84	4,98	5,15	5,37	5,64	5,99	6,43
Septiembre	3,44	3,40	3,38	3,38	3,40	3,45	3,52	3,62	3,75	3,91
Octubre	4,10	3,98	3,88	3,81	3,77	3,76	3,76	3,80	3,86	3,95
Noviembre	6,16	5,87	5,65	5,47	5,34	5,24	5,18	5,17	5,16	5,23
Diciembre	9,68	9,13	8,69	8,36	8,09	7,89	7,76	7,68	7,66	7,68
Medio anual	4,56	4,52	4,51	4,52	4,57	4,65	4,76	4,90	5,08	5,33

La inclinación óptima para la instalación será de 65°.

Conocido el consumo energético total de la instalación y la tensión nominal de diseño, en este caso 120 V, se procede al cálculo del consumo de energía total requerida; en ella se contemplan tanto el consumo total neto de energía necesaria de la instalación, como las pérdidas de energía por conexionado.

$$C_{total} = \frac{E_{total}}{V_{nom}} \quad (\text{Ec. 7.1})$$

Donde,

C_{total} : consumo total neto de energía necesaria de la instalación en Ah/día

E_{total} : consumo energético total de la instalación en Wh/día

V_{nom} : tensión nominal de diseño en V

$$C_{loss} = \frac{10}{100} \cdot C_{total} \quad (\text{Ec. 7.2})$$

Donde,

C_{loss} : pérdidas de energía por conexionado en Ah/día, representan un 10% de C_{total}

$$C_{req} = C_{total} + C_{loss} \quad (\text{Ec. 7.3})$$

Siendo C_{req} el consumo de energía total requerido en Ah/día.

Los resultados obtenidos del consumo neto, de las pérdidas por conexionado y del consumo requerido han sido calculados en base a la media anual, y los siguientes resultados han sido los obtenidos.

Tabla 7.6 Resumen de los resultados obtenido sobre el consumo total neto, las pérdidas por conexionado, y el consumo total requerido. Fuente: elaboración propia.

C_{total} (Ah/día)	C_{loss} (Ah/día)	C_{req} (Ah/día)
216,44	21,64	238,08

Además de las pérdidas por conexionado ya determinadas, al no ser una instalación ideal, se calcula otro coeficiente de pérdidas; este será el referido a las pérdidas de la instalación solar fotovoltaica, en las que se consideran las debidas al regulador, inversor y baterías.

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] \left[1 - \frac{K_A \cdot D_{aut}}{P_{D,m\acute{a}x.}} \right] \quad (\text{Ec. 7.4})$$

Donde,

K_T : pérdidas totales de la instalación (adimensional)

K_B : pérdidas debidas al rendimiento de la batería (adimensional)

K_C : pérdidas debidas al rendimiento del inversor DC/AC (adimensional)

K_R : pérdidas debidas al rendimiento del regulador DC/DC (adimensional)

K_X : pérdidas debidas al rendimiento del inversor DC/AC (adimensional)

K_A : otras pérdidas no contempladas (ejecto Joule) (adimensional)

D_{aut} : días de autonomía de la instalación

$P_{D,m\acute{a}x.}$: profundidad máxima de descarga de las baterías (%)

Los días de autonomía al ser una instalación no crítica, ya que la ubicación se encuentra en un clima soleado y cálido, se calculan con la siguiente ecuación,

$$D_{aut} = -0,48 \cdot HSP + 4,58 \quad (\text{Ec. 7.5})$$

$$HSP(\alpha) = H(\alpha) \cdot 0,0239 \cdot 0,0116 \quad (\text{Ec. 7.6})$$

Donde,

$H(\alpha)$: radiación solar a una determinada inclinación en $\text{kJ}/\text{m}^2\text{día}$

HSP hace referencia a las *horas pico solares*. Para la inclinación de 65° se obtienen 5,10HSP. Por tanto, el valor de los días de autonomía de la instalación será de 2,13 días. Sin embargo, para el cálculo de las pérdidas totales de la instalación se utilizará un valor de 3 HSP, siendo este el valor mínimo de autonomía de este tipo de instalaciones.

Los valores utilizados para el cálculo de K_T , así como el resultado finalmente obtenido, son los mostrados a continuación.

Tabla 7.7 Pérdidas de la instalación fotovoltaica. Fuente: elaboración propia.

K_T	63%
K_A	1%
K_B	5%
K_C	10%
K_R	10%
K_X	10%
D_{aut}	2,13
$P_{D,max}$	60%

Finalmente, el consumo de energía total requerida considerando las pérdidas de la instalación fotovoltaica es,

$$C'_{req} = \frac{C_{req}}{K_T} = 375,67 \text{ Ah/día} \quad (\text{Ec. 7.7})$$

Una vez determinado el consumo a abastecer y conocidas las características de los paneles fotovoltaicos utilizados (Tabla 7.1), es necesario determinar el número de paneles fotovoltaicos necesarios así como su distribución; serie o paralelo.

La distribución del campo solar se realiza combinando diversas opciones de tensión y voltaje.

Sabiendo que las tensiones en serie se suman, y las corrientes en paralelo también, se obtienen los siguientes valores.

$$n_{ps} = \frac{V_{nom}}{V_{mp}} = 4 \text{ paneles} \quad (\text{Ec. 7.8})$$

Donde,

n_{ps} : número de paneles en serie

V_{nom} : tensión nominal de la instalación en V

V_{mp} : tensión en el punto de máxima potencia proporcionada por el panel en V

$$n_{pp} = \frac{C'_{req}}{HSP_{med}(\alpha) \cdot \eta_p \cdot I_{mp}} = 10 \text{ paneles} \quad (\text{Ec. 7.9})$$

Donde,

n_{pp} : número de paneles en paralelo

C'_{req} : consumo de energía total requerida considerando las pérdidas de la instalación fotovoltaica en Ah/día

$HSP_{med}(\alpha)$: media anual de las horas pico solares a una determinada inclinación en h

η_p : rendimiento del panel fotovoltaico, 90 %

I_{mp} : corriente en el punto de máxima potencia del panel en A

Por tanto, en número total de paneles final es 40 .

$$n_{total} = n_{ps} \cdot n_{pp} = 40 \text{ paneles} \quad (\text{Ec. 7.10})$$

7.4.1.1. Baterías

Al tratarse de una vivienda aislada, el abastecimiento durante la noche o durante los días sin sol, se realiza mediante un grupo de almacenamiento de energía. Este grupo está compuesto por un conjunto de baterías; estas son las BAE SECURA PVS. Son baterías estacionarias de OPzS, de plomo ácido, con una tensión de 24 voltios, $V_{bat} = 24V$, y capacidad para proporcionar 1590 amperios-hora en un régimen de descarga de 20 horas, es decir $C_{20} = 1116 Ah$.

Las baterías se sitúan ente la salida del regulador y la entrada del inversor, con un voltaje de nominal

de 48 voltios, $V_{nom} = 48V$. Conocida pues la tensión de entrada al regulador, $V_e = 120V$, la conversión del corriente es la siguiente.

$$C'_{req\ bat} = \frac{V_e \cdot C'_{req}}{V_{nom}} = 939,17\ Ah \quad (\text{Ec. 7.11})$$

La capacidad de almacenaje que deberán tener las baterías es por tanto,

$$C_{alm} = \frac{C'_{req\ bat} \cdot D_{aut}}{P_{D,m\acute{a}x.}} = 4695,84\ Ah \quad (\text{Ec. 7.12})$$

Finalmente, conociendo las características de las baterías así como su capacidad de almacenaje teórico, en número total de baterías necesarias para abastecer la vivienda es lo calculado a continuación.

$$n_{ps} = \frac{C_{alm}}{C_{bat}} = 2\ baterías \quad (\text{Ec. 7.13})$$

$$n_{bs} = \frac{V_{bat}}{V_{nom}} = 5\ baterías \quad (\text{Ec. 7.14})$$

$$n_{total} = n_{ps} \cdot n_{bs} = 10\ baterías \quad (\text{Ec. 7.15})$$

El número total de baterías necesarias, es 10; donde 2 están conectadas en paralelo y 5 en serie.

A modo de comprobación, se calcula la capacidad real de la bancada de baterías así como su descarga y días de autonomía reales.

La capacidad total energética de la bancada de baterías viene determinada por la siguiente ecuación.

$$C_T = N_{total} \cdot V_{bat} \cdot C_{bat} = 267840\ Wh \quad (\text{Ec. 7.16})$$

Sabiendo que las baterías sufren una descarga diaria (noche), se calcula su demanda adaptada y descarga real.

$$D = V_{nom} \cdot C'_{req} = 45080,06 \text{ Wh} \quad (\text{Ec. 7.17})$$

$$D(\%) = \frac{D}{C_T} \cdot 100 = 17 \% \quad (\text{Ec. 7.18})$$

Por lo tanto, con estos datos, se sabe que en el caso de que las baterías se descargaran de manera completa, el aporte de energía sería durante casi 6 días.

$$T = \frac{1}{D(\%)} = 5,94 \text{ días} \quad (\text{Ec. 7.19})$$

7.4.1.2. Regulador

El regulador es el elemento encargado de proporcionar el corriente a una tensión constante. Se trata de un regulador que integra la tecnología del seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT).

La determinación del regulador necesario se hace en función de la corriente máxima que deba soportar. La instalación dispone de 10 paneles en paralelo, y aplicando un porcentaje de seguridad del 20%, se obtiene el corriente máximo que los paneles entregarán, siendo este valor la corriente de entrada al regulador.

$$I_{mp} = \eta_{panel} \cdot \frac{P_{mpp}}{U_{mpp}} = 7,45 \text{ A} \quad (\text{Ec. 7.20})$$

$$I_{e \text{ reg}} = 1,20 \cdot n_{pp} \cdot I_{mp} = 89,42 \text{ A} \quad (\text{Ec. 7.21})$$

La corriente de salida se determina en función del consumo de la vivienda. Al tratarse de consumo en AC, la corriente de salida que el regulador debe soportar de ser la siguiente.

$$I_L = \frac{P_{AC}}{\eta_{inv} \cdot V_{nom}} = 145,93 \text{ A} \quad (\text{Ec. 7.22})$$

El regulador finalmente escogido es el SmartSolar MPPT 250/85 de la marca Victron Energy, que permite una corriente máxima de salida de 85 amperios, necesitando s 2 en paralelo para satisfacer las corrientes deseadas.



Figura 7.1 Regulador de carga SmartSolar MPPT 250/85. Fuente: <https://www.victronenergy.com.es>. [37]

7.4.1.3. Inversor

El último elemento necesario para suplir la energía a la vivienda en las condiciones necesarias es el inversor DC/AC. Este se encarga de transformar la corriente en DC proveniente de las baterías o regulador, en AC para su consumo en la vivienda.

El dimensionado del inversor se hace en función de la potencia nominal demandada por la carga. El inversor debe ser capaz de proporcionar una potencia ligeramente superior a la máxima demandada por la carga.

$$P_{inv} = \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}} = 17.511,58 \text{ W} \quad (\text{Ec. 7.23})$$

El inversor seleccionado para el funcionamiento de la vivienda es el SUNNY ISLAND 8.0H. Son necesarios 3 inversores en paralelo para proporcionar la potencia que demanda la carga AC.



Figura 7.2 Inversor SUNNY ISLAND 8.0H. Fuente: <https://www.sma.de/en.html>. [35]

7.4.2. Dimensionado cableado

La conexión entre los diferentes elementos que integran la instalación fotovoltaica se realiza a través del cableado. Debe estar dimensionado para que soporte una caída de tensión máxima impuesta por la normativa vigente, REBT, así como una corriente máxima; en función de estos dos

parámetros juntamente con la longitud del conducto y la conductividad del material eléctrico utilizado, se determina la sección necesaria para garantizar el conexionado adecuado entre los paneles fotovoltaicos, regulador, baterías e inversor.

Para el dimensionado del cableado han sido considerados cuatro tramos: campo solar-regulador, regulador-baterías, regulador-inversor y inversor-carga AC (vivienda). En cada uno de ellos, el corriente que atraviesa la línea se ha calculado imponiendo un factor de seguridad del 25%, tal y como se indica en la ITC-BT-40, para asegurar que cableado y elementos de protección trabajen a menos del 80% de su capacidad. Como se ha comentado en el apartado de 6 *Diseño de instalaciones*, la potencia máxima instalada es de 14,49 kW.

La caída de tensión admisible para cada uno de los tramos se muestran en la Tabla 7.8.

Tabla 7.8 C.d.t típicas admisibles en los conductores para instalaciones. Fuente: PDF IEEN - ESF 3 "Dimensionado del Cableado Necesario para la Instalación".

Circuito	% de c.d.t. admisible
Panel – Regulador	3% – 5%
Regulador – Acumuladores	0,5% – 1%
Regulador – Inversor	0,5% – 1%
Acumuladores – Inversor	0,5% – 1%
Regulador – Carga de DC	3%
Inversor – Carga de AC (según el REBT)	3% (viviendas) 5% (industrias)

El cobre es el material utilizado como conductor eléctrico, se han tomado las propiedades de la Tabla 6.58 para realizar los cálculos.

El valor de la corriente soportada por los tramos campo solar-regulador y regulador-baterías, es el mismo, será el máximo proporcionado por el campo solar.

$$I_{panel-reg} = I_{reg-bat} = 1,25 \cdot n_{pp} \cdot I_{mp} = 103,75 \text{ A} \quad (\text{Ec. 7.24})$$

El valor del atravesado en los tramos baterías-inversor y regulador-inversor, se determina considerando la carga total AC y la tensión nominal utilizada en el dimensionado de la instalación.

$$I_{reg-inv} = I_{bat-inv} = 1,25 \cdot \frac{P_{AC}}{\eta_{inv} \cdot V_{nom}} = 397,20 \text{ A} \quad (\text{Ec. 7.25})$$

Por último, el conducto que conecta la vivienda con la instalación fotovoltaica, debe ser capaz de soportar la potencia instalada máxima, los 14490 W determinados por el REBT, a su tensión de

consumo, 230 V, al tratarse de una carga monofásica AC.

$$I_{inv-vivienda} = 1,25 \cdot \frac{P_{AC}}{V_{vivienda}} = 78,75 \text{ A} \quad (\text{Ec. 7.26})$$

Mediante estas intensidades de corriente máximas, se calculan las secciones necesarias en el cableado.

$$S = 2 \cdot \frac{LI}{\sigma U} \quad (\text{Ec. 7.27})$$

Donde,

S: sección del cableado en mm²

L: longitud del cableado de solo ida en m

I: corriente que atraviesa la línea en A

σ: conductividad del material eléctrico en m/Ωmm²

U: c.d.t total de la línea en V

Una vez calculada la sección necesaria, se utiliza finalmente las secciones normalizadas. Estas son las determinadas por la ITC-BT-19 del REBT. En la se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 7.9 Resumen del cableado de la instalación fotovoltaica. Fuente: elaboración propia.

Circuito	V _{nom} (V)	ΔV (%)	U (V)	Long. (m)	Corriente (A)	S _{Obtenida} (mm ²)	S _{norm} (mm ²)
Panel-Regulador	120	5%	6	5	103,75	4,07	6
Regulador-Batería	48	1%	0,48	1,5	103,75	10,90	16
Batería/Regulador-Inversor	48	1%	0,48	1,5	397,20	41,72	50
Alimentación AC	230	3%	6,9	25	78,75	9,59	10

7.4.3. Plano conexionado instalación fotovoltaica viviend

7.5. Dimensionado del sistema de captación para el abastecimiento del agua consumida en la vivienda

El agua utilizada en la vivienda procede del pozo de la finca. Este pozo no es real, ya que a día de hoy en la ubicación de la vivienda no hay ninguna casa, y por lo tanto tampoco la necesidad de un pozo. El agua consumida podría provenir de dos sitios diferentes: de un futuro pozo que se realice, o de un pozo perteneciente a algún vecino de la zona, ya que como se ha explicado en el apartado 6 *Diseño de instalaciones*, en zonas rurales de Ibiza no hay acometida de red de agua pública. Se ha tomado la decisión de dimensionar la instalación fotovoltaica para un pozo de uso privado, ya que los datos necesarios para determinar la posible bomba necesaria para suministrar el agua desde un punto vecino no eran conocidas, y además, de esta manera se conoce un dato más real a tener en cuenta en el momento implementar este proyecto en un futuro.

La instalación fotovoltaica dimensionada a continuación, es la requerida para el funcionamiento de la bomba hidráulica. Ha sido calculada siguiendo el mismo procedimiento explicado para el consumo eléctrico de la vivienda; el criterio del mes crítico. La única diferencia encontrada entre este dimensionado y el anterior, es el funcionamiento de la instalación; en este caso este se realiza durante las horas pico solares del día, es decir cuando el campo solar genera energía, es por eso que la bancada de baterías no se determina para la actual instalación.

La bomba utilizada para extraer el agua del pozo es la explicada en el punto de 6.3 *Suministro de agua* del 6 *Diseño de instalaciones*. Tal y como se ha mostrado, se trata de una bomba monofásica alimentada en AC, por lo que la instalación requiere tanto de un regulador DC/DC como de un inversor DC/AC.

Al ser el procedimiento de cálculo el mismo que el explicado con anterioridad, para esta instalación se muestran, simplemente, los resultados obtenidos de la aplicación de las fórmulas ya explicadas.

7.5.1. Sistema de captación

La instalación fotovoltaica requerida para abastecer la bomba hidráulica se sitúa en la misma ubicación que la anterior. Es por eso que la inclinación de los paneles fotovoltaicos es, de nuevo, 65°.

En este caso, el consumo de energía total requerida se determina en función de la cantidad de agua extraída por la bomba, y de la altura que esta debe superar.

La altura hidráulica de bombeo es la presión efectiva que la bomba tiene que superar. En función de la altura geométrica, la altura dinámica, el abatimiento del pozo y la profundidad del punto de toma de agua hasta el nivel de abatimiento, se determina la altura hidráulica.

$$h = H_g + H_d + S_w - d_{pump}$$

(Ec. 7.28)

Donde,

h : altura hidráulica en m

H_g : altura geométrica en m

H_d : altura dinámica en m

S_w : abatimiento del pozo en m

d_{pump} : profundidad del punto de toma de agua hasta el nivel de abatimiento en m

La altura geométrica del pozo es de 80 m. La altura dinámica no debe superar un 2% de la altura total [22].

$$H_d = 2\% \cdot h \quad (\text{Ec. 7.29})$$

Y del abatimiento del pozo, se recomienda que tampoco supere un 10% de la altura total [22].

$$S_w = 10\% \cdot h \quad (\text{Ec. 7.30})$$

Por último, el valor de la profundidad del punto de toma de agua hasta el nivel de abatimiento se considera de 1 metro. Es por eso que, conocidos los datos necesarios, se calcula la altura hidráulica, obteniendo el resultado de 81,37 metros.

La energía hidráulica necesaria para mover el agua a la altura determinada es de 138,58 Wh.

$$E_h = \frac{Vh}{366,97} \quad (\text{Ec. 7.31})$$

Donde,

E_h : energía hidráulica en Wh

V : volumen de agua extraída en l

h : altura total a salvar por la bomba en m

El volumen de agua extraída por la bomba, son los 625 litros que consumen diariamente una familia europea de 5 miembros. Esta agua, se extrae durante las horas pico solares diarias, es por eso que la bomba debe ser capaz de extraer un caudal total de 122,55 l/h.

La potencia hidráulica requerida para suministrar este caudal es de 27,17 W.

$$P_h = gQh \quad (\text{Ec. 7.32})$$

Donde,

P_h : potencia hidráulica en W

g : aceleración de la gravedad en m/s^2

Q : caudal de agua extraída en l/s

h : altura total salvada por la bomba en m

En función de esta potencia hidráulica requerida, y suponiendo un rendimiento del 40% [22] para bombas alimentadas en AC, se obtiene que la potencia eléctrica teórica necesaria para suplir las necesidades es de 67,93 W. Sin embargo la bomba finalmente instalada, para asegurar que cumple con los requerimientos de caudal y alturas calculados, termina consumiendo una potencia eléctrica de unos 253 W siendo el caudal proporcionado de 2,04 l/s y la altura a salvar de 91 metros.

Para el dimensionado del número de paneles fotovoltaicos, se utiliza la potencia eléctrica de la bomba instalada para asegurar el correcto funcionamiento de la misma. Es por eso que después de calcular el consumo total de energía requerida (suponiendo las pérdidas de la instalación debidas al regulador, inversor y efecto Joule), el número total de paneles asciende a 16, donde 4 se conectan en paralelo y 4 en serie.

7.5.1.1. Regulador

El regulador utilizado en esta instalación fotovoltaica, vuelve a integrar la tecnología del seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT). Debe soportar una corriente máxima de 35,77 A como flujo de entrada, y de 2,34 A de salida.

El regulador escogido es el Blue Solar MPPT 150/45 de Victron Energy, que satisface las corrientes calculadas soportando hasta una intensidad máxima de 45 A.



Figura 7.3 Regulador de carga BlueSolar MPPT 150/45. Fuente: <https://www.victronenergy.com> [37].

7.5.1.2. Inversor

El inversor debe ser capaz de trabajar a una potencia de unos 282 watts, para garantizar el correcto suministro de energía a la carga AC.



Figura 7.4. Inversor Phoenix 24/375. Fuente: <https://www.victronenergy.com> [37].

El inversor escogido es el Phoenix 24/375 que satisface la potencia demanda, siendo esta 300 W.

7.5.2. Dimensionado cableado

En esta instalación los aparatos utilizados son todos una vez más monofásicos. Es por eso que el cálculo de las intensidades que atraviesan los conductos, y los valores de caídas de tensión admisibles y propiedades del cableado, son las mismas que las especificadas en el dimensionado del cableado en la instalación fotovoltaica de la vivienda.

La Tabla 7.10 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 7.10 Resumen del cableado de la instalación fotovoltaica. Fuente: elaboración propia.

Circuito	V_{nom} (V)	ΔV (%)	U (V)	Long. (m)	Corriente (A)	$S_{Obtenida}$ (mm ²)	S_{norm} (mm ²)
Panel-Regulador	120	5%	6	7	41,50	1,63	2,5
Regulador-Inversor	24	1%	0,24	1,5	13,87	2,91	4
Alimentación AC	230	3%	6,9	1,5	1,37	0,01	1,5

7.5.3. Plano conexionado instalación fotovoltaica pozo

7.6. Plano emplazamiento campo solar

7.7. Simulación energética PVSYST

Una vez calculada la instalación fotovoltaica de la vivienda, se ha simulado con el software PVSyst. La instalación del pozo, no ha sido simulada, ya que el interés reside en si las baterías cumplen con el comportamiento estimado.

En el momento de introducir los datos necesarios para la evaluación de la instalación fotovoltaica, se han encontrado una serie de limitaciones. Los paneles representados en PVSyst, son los mismos que los utilizados en los cálculos, así como también lo es la inclinación simulada; 65°. Sin embargo, tanto el regulador como el inversor utilizados en la vivienda, no están disponibles en el listado de elementos proporcionados por el sistema, al igual que tampoco lo están las baterías utilizadas. Es decir, que se han tenido que utilizar elementos diferentes, teniendo estos unas características lo más similares posible a los dimensionados, es por eso que quizás el resultado obtenido no se ajusta a la perfección de la instalación teóricamente calculada.

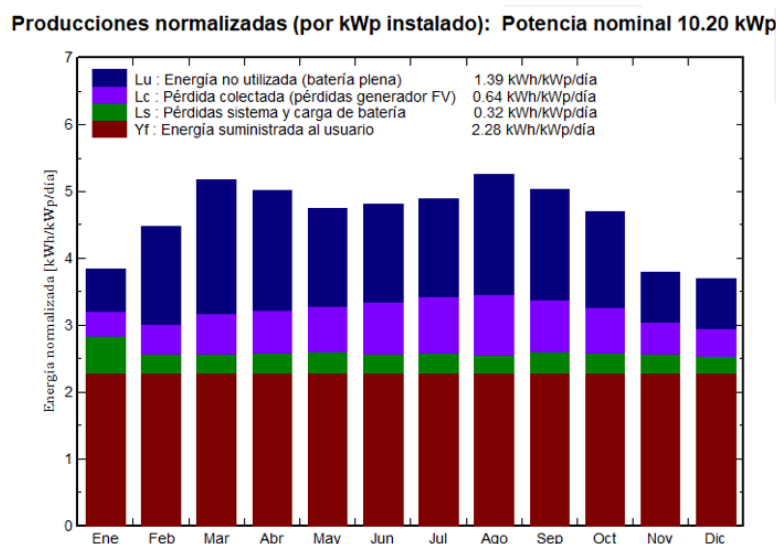


Gráfico 7.2 Energía producida y pérdidas de la instalación por mes. Fuente: Informe PVSyst.

El Gráfico 7.2 representa mediante barras verticales la energía suministrada al usuario en color granate, las pérdidas del sistema y carga de batería en color verde, las pérdidas del generador fotovoltaico en lila, y la energía no utilizada ni almacenada en el banco de baterías debido al llenado máxima de estas, en color azul.

El resultado obtenido es positivo, ya que tal y como era de esperar, en los meses de invierno, la energía no utilizada toma valores más bajos que no durante los meses de verano. Esto es consecuencia de la reducción de horas pico solares durante los meses invernales, y consecuencia también del aumento de días nublados; durante estos periodos, debida a la ausencia de sol, el consumo de la vivienda tendrá que ser abastecido mediante las baterías.

Tabla 7.11 Balance energético de la vivienda. Fuente: Informe PVSyst.

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E Avail MWh	EUnused MWh	E Miss MWh	E User MWh	E Load MWh	SolFrac
Enero	66.8	116.8	1.056	0.199	0.000	0.721	0.721	1.000
Febrero	84.4	121.3	1.116	0.414	0.000	0.651	0.651	1.000
Marzo	137.0	155.8	1.411	0.631	0.000	0.721	0.721	1.000
Abril	167.5	144.9	1.306	0.552	0.000	0.698	0.698	1.000
Mayo	203.1	140.8	1.247	0.465	0.000	0.721	0.721	1.000
Junio	218.9	137.5	1.202	0.449	0.000	0.698	0.698	1.000
Julio	219.9	144.5	1.239	0.461	0.000	0.721	0.721	1.000
Agosto	195.3	156.4	1.337	0.566	0.000	0.721	0.721	1.000
Septiembre	143.3	146.2	1.265	0.503	0.000	0.698	0.698	1.000
Octubre	106.2	142.0	1.233	0.455	0.000	0.721	0.721	1.000
Noviembre	69.3	110.0	0.976	0.228	0.000	0.698	0.698	1.000
Diciembre	58.8	110.7	1.006	0.236	0.000	0.721	0.721	1.000
Año	1670.5	1627.2	14.394	5.158	0.000	8.487	8.487	1.000

Leyendas: GlobHor Irradiación global horizontal E Miss Energía faltante
 GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados E User Energía suministrada al usuario
 E Avail Energía Solar Disponible E Load Necesidad de energía del usuario (Carga)
 EUnused Pérdida de energía no utilizada (batería plena) SolFrac Fracción solar (EUtilizada/ECarga)

Con la Tabla 7.11 se analiza el balance energético de Cas Matà. Se observa que las necesidades de energía de la carga y la energía suministrada al usuario toman los mismos valores, es decir que el campo solar y las baterías calculadas, satisfacen adecuadamente la demanda para cada mes de la vivienda.

Para terminar, se muestra el estado diario de carga del grupo de almacenamiento. Tal y como se ha observado en el Gráfico 7.2, durante los meses invernales se produce la descarga de la batería más pronunciada, destacando el mes de enero sobre el resto. En este mes, la descarga llega a ser del 50%, sin llegar a sobrepasar el límite de 40% de las baterías utilizadas. Durante el período comprendido entre abril y septiembre, esta descarga es casi despreciable, gracias al cuantioso recurso solar encontrado a lo largo estos.

Se puede afirmar el buen dimensionado de la instalación gracias al resultado obtenido en la simulación en PVSyst.

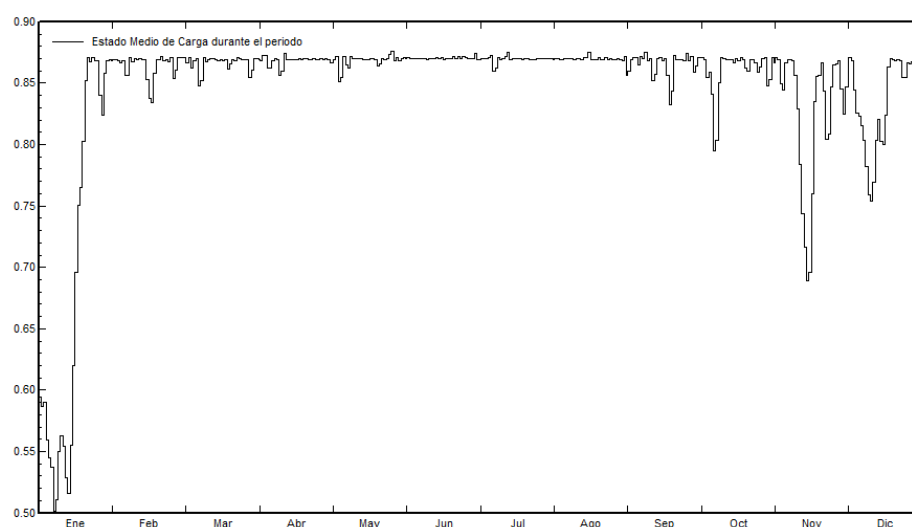


Gráfico 7.3 Estado de distribución de carga diaria del banco de baterías. Fuente: Informe PVSyst.



8. Análisis del impacto ambiental

Una vivienda construida bajo el estándar Passivhaus conlleva dos beneficios principales; por un lado el bajo consumo energético de esta, contribuye notablemente a la reducción de emisiones de CO₂ equivalente. Además, si se suma el uso de energías renovables como fuente energética de abastecimiento, debido a la desconexión de la red eléctrica y de agua en el caso de Cas Matà, esta disminución llega a tomar valores próximos a cero.

Como se ha analizado al inicio del trabajo, la climatización de la vivienda juntamente con la generación de ACS, suponen el 65,9% del consumo total energético de un inmueble en España, por tanto es de destacar que en Cas Matà este valor asciende a 38%, casi la mitad que una vivienda estándar encontrada en España.

Por otro lado, el confort que una vivienda pasiva proporciona no es comparable con el resto de edificaciones encontradas a día de hoy. La hermeticidad de la vivienda reduce las infiltraciones de aire indeseadas, las elevadas prestaciones en ventanas y puertas eliminan los puentes térmicos, y la ventilación cruzada con recuperador de calor, asegura un espacio saludable para sus habitantes; pues el aire introducido en la vivienda pasa por una serie de filtros que impiden el paso de partículas contaminantes y reducen la formación de polvo.

Comparando el consumo final de Cas Matà, con el de una vivienda estándar de las mismas características constructivas (grosos de aislamiento y cerramientos de altas prestaciones) y ubicada en la misma situación, en la que se ha disminuido la hermeticidad y eliminado el recuperador de calor de la ventilación, y el abastecimiento de ACS y calefacción se realiza a través de Gas Natural (una casa estándar española), las emisiones de CO₂ equivalente⁷ producidas por esta última, casi triplican las de una vivienda construida bajo los criterios Passivhaus. Es decir, que la mejora medioambiental aportada por una casa pasiva, tiene unas repercusiones muy importantes y positivas en el cambio climático, ya que la reducción del consumo energético por parte de viviendas bajo estos criterios, contribuiría a disminuir el consumo energético europeo, el cual supone 40% de este sector, y consecuentemente sus emisiones contaminantes.

⁷ Calculadas por el PHPP, utilizando un factor de conversión de 680 g/kWh.

Tabla 8.1 Comparativa económica y ambiental entre Cas Matà y una vivienda estándar. Fuente: elaboración propia.

	Energía final (kWh)	Valor EP (kWh)	Kg emisiones de CO2 eq.	Coste (€)
Cas Matà				
Demanda (kWh)	8653,94	22500,25	5,88	1125,01
Demanda calefacción y ACS (kWh)	3261,35	3261,35	3,26	423,98
Demanda refrigeración (kWh)	1966,65	32864,92	1,34	255,66
Vivienda Estándar				
Demanda (kWh)	25939,44	52844,06	13,45	3372,13
Demanda calefacción y ACS (kWh)	9626,67	10705,55	2,41	481,33
Demanda refrigeración (kWh)	8398,06	140348,55	6762,81	1091,75

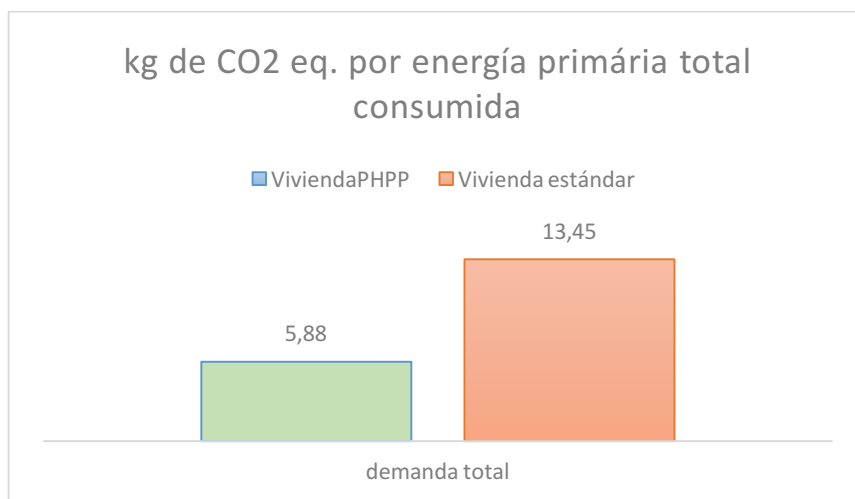


Gráfico 8.1 Comparativa de emisiones de CO₂ eq. por energía primaria consumida entre una Passivhaus y una vivienda estándar. Fuente: elaboración propia.

Contrariamente a esto, se tienen que considerar también los materiales utilizados en este tipo de edificaciones, así como la maquinaria necesaria instalada para suplir las demandas de la vivienda. La ubicación de la vivienda, se encuentra en una isla, puede dificultar la obtención de determinados materiales y componentes utilizados para el funcionamiento de la misma, hecho que implica el transporte de estos desde la península. Es por eso, que debería ser contemplado también este

impacto ambiental, juntamente con las emisiones producidas por el consumo energético de la casa.

Para que la vivienda fuera más ecológica, se podría contemplar una red de recogida de aguas pluviales mediante las inclinaciones formadas en la cubierta, y no simplemente las residuales como se ha contemplado en el trabajo. Las pluviales, juntamente con las residuales, podrían ser utilizadas para el riego de las zonas verdes de la finca.

Como posible mejora a considerar, en cuanto a reparación de averías en instalaciones subterráneas, la construcción de un semisótano de la misma superficie que la vivienda, contribuiría a mejorar las soluciones adoptadas para las reparaciones de las tuberías encontradas en la losa de cimentación. Gracias a este, en caso de daño, simplemente se tendría que acceder al semisótano y localizar la avería para restaurarla, sin necesidad de considerar la ubicación del suelo radiante/refrescante, por ejemplo. De todas formas, el tendido de tuberías se ha considerado para conseguir que no se sobrepongan las unas con las otras.

Además, de ser beneficioso para la reparación de averías, en este se podrían ubicar también los elementos necesarios para el almacenamiento y transformación de la energía captada a través del campo solar, sin necesidad de utilizar largas extensiones de cableado para facilitar las conexiones entre vivienda y caseta anexa proyectadas en el presente trabajo.

Una vez realizado y analizado el proyecto, todas estas repercusiones y mejoras han sido generadas. Considerando estas opiniones, y evaluando su implantación, el resultado final obtendría más aspectos positivos que los encontrados en Cas Matà.

Conclusiones

Respecto a los objetivos planteados

Los objetivos planteados consistían en el dimensionado de una vivienda unifamiliar bajo los aspectos bioclimáticos y criterios del estándar Passivhaus, y evaluar su impacto económico y ambiental.

La construcción bajo los aspectos bioclimáticos, no puede ser evaluada de manera formal a nivel del territorio español, ya que no existe un certificado como tal que evalúe durante la ejecución de una vivienda, el cumplimiento o no de estos. Sin embargo, si que pueden ser valuados los criterios del Passivhaus, ya que se trata de un estándar de construcción certificado y avalado. Tal y como se ha comentado en el apartado 3.4 *Estándar Passivhaus*, en España el número de edificaciones certificadas bajo este estándar asciende a 113; valor muy bajo. Aún así, cabe destacar la existencia de edificaciones construidas bajo los criterios del estándar, pero no certificadas.

Constructivamente no se trata de una vivienda con tecnologías muy avanzadas con respecto a la realizada según normativa vigente. Básicamente se incorporan mejoras en los requerimientos impuestos por estas normativas como son aislamientos mas gruesos, cerramientos con elevadas prestaciones, o la recuperación de calor en la ventilación (inexistente en el CTE). Así mismo, se incorpora la generación de energía renovable mediante paneles fotovoltaicos u otro sistema (en Cas Matà esta tecnología es la seleccionada), existentes desde hace tiempo en el mercado nacional.

Referente a las consideraciones energéticas, queda demostrado que una vivienda diseñada bajo esta serie de criterios, consigue demandas energéticas menores que las realizadas según el CTE, y consecuentemente, beneficios directos en el medioambiente en cuanto a emisiones de GEI, y beneficios directos económicamente, reduciendo el coste de la factura eléctrica.

Las instalaciones interiores requeridas en una vivienda bioclimática son las mismas que las necesitadas por una CTE, simplemente se diferencian por la recuperación de calor en el sistema de ventilación, elemento que contribuye a disminuir notablemente la demanda de climatización de la vivienda gracias a su capacidad de recuperación de energía y aportación directa de esta, en el aire de admisión.

El abastecimiento energético mediante energía solar es una instalación encontrada en el mercado desde hace tiempo, y gracias a ello ha ido mejorando rápidamente a lo largo de los años y disminuyendo su coste. Sin embargo, dicha instalación supone un sobrecoste de casi 88.000 €, de los cuales 37.500 € son destinados únicamente al sistema de almacenamiento de energía, utilizado en días poco soleados o durante el consumo realizado por la noche. Es por eso que se podría considerar la posibilidad de abastecer la vivienda en esas dos ocasiones, mediante energía proveniente de la red eléctrica, es decir sin ser una vivienda aislada, y sin la necesidad de disponer del sistema de almacenamiento. O incluso también, valorar la ausencia de la instalación fotovoltaica entera y abastecerse energéticamente mediante la red eléctrica.

Por tanto, a grandes rasgos y sin haber entrado en detalle preciso en el estándar alemán, se puede decir que el resultado final obtenido es muy positivo, ya que responde a las necesidades, en parte, del estándar evaluado, y las instalaciones interiores y abastecimiento energético se han dimensionado en base a la normativa vigente.

- Personales

Siempre había considerado interesante esta temática, el uso de las energías renovables juntamente con una vivienda de bajo consumo. A raíz Can Tanca, proyecto que se realizó en Ibiza y despertó mi interés para realizar un trabajo de este estilo, he comprendido la necesidad de los edificios de consumo casi nulo y sus beneficios. No se trata de un interés a nivel personal, sino una necesidad a nivel global. Gracias a este tipo de edificaciones el cambio climático podría ser “corregido”, y consecuentemente, los desastres ecológicos minimizados.

A nivel mundial se han ido tomando medidas restrictivas para frenar la situación actual en la que se encuentra el cambio climático. Desde la Unión Europea, se han firmado compromisos para reconducir los consumos energéticos, en concreto la actividad energética del sector inmobiliario. Estos compromisos deben ser adoptados por cada país miembro adecuándolos a sus normativas internas.

En España la cumplimentación de estas normativas va con cierto “retraso”, hasta el verano del 2017, no se tenía constancia escrita y formal de lo que es un edificio de consumo casi nulo. Destaca este dato, ya que en el año 2010 se impuso la necesidad de asegurar que a partir del 2018, en la edificación pública, y del 2021 en la privada, las nuevas construcciones se realizaran bajo este concepto, sin embargo, la definición de tal, no llegó hasta medio año antes de su entrada en vigor. En base a esto me surgen dudas tipo si España cuenta con los profesionales preparados para garantizar la cumplimentación de dicho requerimiento.

En líneas generales, con este trabajo he reafirmado mi interés por este sector, y además he conseguido ampliar conocimientos en tres direcciones distintas. En primer lugar, conocer los aspectos de la arquitectura bioclimática y estándar Passivhaus, y aplicar dichos conceptos a un caso teóricamente real. En segundo, incrementar competencias informáticas; mejorar mis conocimientos en AutoCAD, poner en práctica los aprendidos a lo largo de la carrera en Microsoft Office, y finalmente aprender a utilizar el software PHPP y analizar sus resultados. Por último, aplicar los conocimientos aprendidos a lo largo de los cuatro años de carrera, y introducirme en una parte de la normativa vigente en cuanto a eficiencia en la edificación española. Con todo esto, no pretendo otra cosa sino que reafirmar la positiva sensación finalmente obtenida después de los cuatro meses invertidos en el presente trabajo final de grado.

Presupuesto

A continuación se presentan los presupuestos parciales obtenidos para cada concepto considerado para la realización de la vivienda bioclimática. Dichos conceptos se agrupan en tres bloques, la construcción, las instalaciones y el abastecimiento energético. A continuación se indica cada concepto:

- Construcción de la vivienda
- Instalación de ventilación
- Instalación de climatización
- Instalación de suministro de agua
- Instalación de saneamiento
- Instalación de electricidad
- Abastecimiento energético mediante energía solar

Estos se han calculado en base a los materiales utilizados, la mano de obra prevista y el coste del estudio ingenieril. Los precios mostrados se han obtenido a través de internet, en función de las características de cada elemento. Destacar que, en determinados conceptos el precio y descripción de estos, han sido tomados del portal web de *Generador de Precios de Cype* [12], ya que en caso contrario muchos de los elementos utilizados en dichos conceptos no hubiesen sido considerados en el precio final.

El siguiente gráfico muestra el coste que supondría la totalidad de cada bloque analizado, ascendiendo a un total de casi 338.000€. Se observa que la construcción de la vivienda es el más caro, ascendiendo a casi 200.000 euros, sin embargo esta minuciosa construcción, puede contribuir a un ahorro económico en la factura eléctrica de hasta 3.380 euros anuales (valor obtenido en función del consumo energético calculado para la “vivienda estándar” considerada en el apartado de *Impacto Ambiental*). Le sigue el abastecimiento energético con casi 88.000 euros, y finalmente las instalaciones interiores con 52.000 euros. Con todo ello, el precio del metro cuadrado construido asciende a 1452,71 €/m², sin distar mucho de los 1000 €/m² que cuesta una casa cumpliendo con normativa.

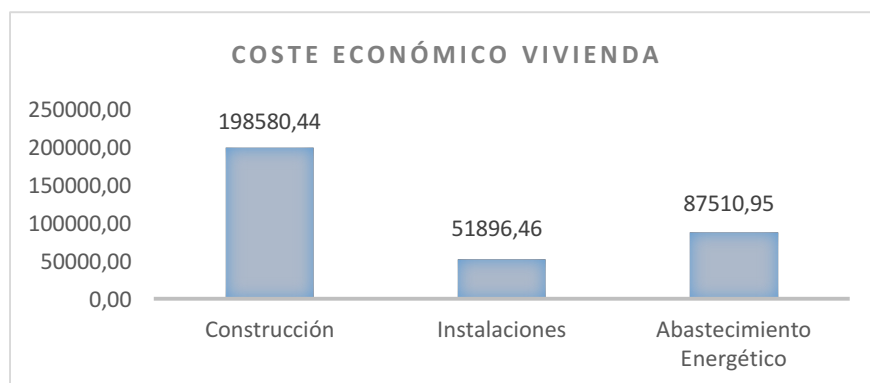


Gráfico 0.1 Coste económico vivienda. Fuente: elaboración propia.

Presupuesto Parcial Nº 1 – Construcción

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	%IVA	Importe
1.1	m2	Acondicionamiento del terreno.				
		Total m2 :	450	3,68	21	1.656
1.2	Ud	Bloque Klimablock 27x25x20 cm.				
		Total Ud:	4300	7,89	21	3.3927
1.3	m2	Capa EPDM.				
		Total m2:	489,03	3,86	21	1.887,66
1.4	m2	Capa de hormigón de limpieza HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, de 10 cm de espesor.[12]				
		Total m2:	255,03	7,49	21	1.910,17
1.5	m2	Fibra de madera steicoflex 40 mm.				
		Total m2:	525,05	6,2	21	3.255,31
1.6	m2	Fibra de madera steicouniversal 52 mm.				
		Total m2:	234	21,11	21	4.939,74
1.7	m2	Fibra de madera steicoflex 200 mm.				
		Total m2:	234	30,37	21	7.106,58
1.8	m2	Fibra de madera steicoflex 100 mm.				
		Total m2:	255,03	14,5	21	3.697,94
1.9	Ud	Flexi band 60 mm rothbass.				
		Total Ud:	8,00	33,60	21	268,80
1.10	Ud	Grapas rothbass.				
		Total Ud:	6,00	38,86	21	233,16
1.11	m2	Lámina geotextil.				
		Total m2:	489,03	1,63	21	797,12

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	%IVA	Importe
1.12	m3	Losa de cimentación de hormigón armado, realizada con hormigón HA-25 fabricado en central, y vertido con bomba, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 85 kg/m³; acabado superficial liso mediante regla vibrante, sin incluir encofrado.[12]				
		Total m3:	51,00	174,32	21	8.890,32
1.13	Ud	Mortero adherente Vit ecoCORK.				
		Total Ud:	10,00	40,09	21	400,90
1.14	m2	Placas Aglocork Termico 30 mm.				
		Total m2:	759,05	12,82	21	9.731,05
1.15	m2	Placas Aglocork Termico 40 mm.				
		Total m2:	234,00	16,58	21	3.879,72
1.16	m2	Placas Aglocork Termico 50 mm.				
		Total m2:	255,03	20,74	21	5.289,32
1.17	m2	Placas Aglocork Termico 70 mm.				
		Total m2:	234,00	24,87	21	5.819,58
1.18	m2	Placa cartón yeso PLACO 3000X1200X15 mm.				
		Total m2:	699,44	12,65	21	8.847,92
1.19	Ud	Persiana.				
		Total Ud:	6,00	138,67	21	832,02
1.20	Ud	Puerta exterior.				
		Total Ud:		369,70	21	739,40
1.21	Ud	Puerta interior.				
		Total Ud:		109,07	21	763,49
1.22	m2	Revoco a buena vista, acabado superficial rugoso, para enlucir, con 10 mm de mortero técnico de cal hidráulica natural, color a blanco, tipo GP CSII W0, según UNE-EN 998-1, aplicado en dos manos sobre un paramento vertical de hasta 5 m de altura, previa colocación de malla antiálcalis en cambios de material y en los frentes de forjado.[12]				
		Total m2:	408,45	29,88	21	1.2204,43

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	%IVA	Importe
1.23	m2	Solado de baldosas cerámicas de gres rústico, 2/0/-/-, de 30x30 cm, 8 €/m², recibidas con mortero de cemento M-5 de 3 cm de espesor y rejuntadas con lechada de cemento blanco, L, BL-V 22,5, para junta mínima (entre 1,5 y 3 mm), coloreada con la misma tonalidad de las piezas.[12]				
		Total m2: 184,24		20,04	21	3.692,17
1.24	Ud	Vigas de madera 100 mm.				
		Total Ud: 140,00		25,34	21	3.547,60
1.25	Ud	Vigas de madera 200 mm.				
		Total Ud: 40,00		48,75	21	1.950,00
1.26	Ud	Ventana corredera 2,4x2,3 m.				
		Total Ud: 3,00		5078,40	21	15.235,20
1.27	Ud	Ventana cocina 1,9x1 m.				
		Total Ud: 2,00		1748,00	21	3.496,00
1.28	Ud	Ventana habitación 1,5x1,3 m.				
		Total Ud: 3,00		1794,00	21	5.382,00
1.29	Ud	Ventana baño 0,4x0,8 m.				
		Total Ud: 4,00		294,40	21	1.177,60
1.30	Ud	Ventana pasillo 1,3x1 m.				
		Total Ud: 1,00		1196,00	21	1.196,00
		Mano de obra			21	18.330,50
		Estudio vivienda Passivhaus			21	27.495,75
		TOTAL DEL PRESUPUESTO PARCIAL Nº 1-CONSTRUCCIÓN			21	198.580,44 €

Presupuesto Parcial Nº 2 – Ventilación

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	%IVA	Importe
2.1	m	Aislamiento para conducto circular de impulsión de fibra de vidrio de 30 mm de espesor. Totalmente montado.				
		Total m: 200		2,75	21	550,00
2.2	m	Conducto circular para la distribución de aire climatizado formado por acero galvanizado, compuesto con codos y derivaciones, embocaduras, soportes metálicos galvanizados, accesorios. Totalmente montado conexionado y probado.				
		Total m: 200		3,34	21	668,00
2.3	Ud	Suministro e instalación de central de ventilación de doble flujo con recuperador de calor, montaje en suelo o pared, modelo Zehnder ComfoAir 350, caudal máximo de 350 m3/h 200Pa, de 625x572x845 mm dimensiones, ventiladores controlados electrónica-mente para caudal constante, recuperación de calor hasta el XX % con intercambiador a contracorriente y flujos cruzados, bypass automático, filtros tipo G4. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento.				
		Total Ud: 1		2.180,00	21	2.180,00
2.4	Ud	Suministro e instalación de central de deshumificador Zehnder ComfoDew 350, montaje en techo, caudal máximo de 350 m3/h, de 758x734x262 mm. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento.				
		Total Ud: 1		2.163,00	21	2.163,00
2.5	Ud	Suministro e instalación de regulación y control centralizado por sonda de temperatura para impulsión , totalmente montado, conexionado y puesto en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento.				
		Total Ud: 1		113,00	21	113,00
2.6	Ud	Suministro y montaje de rejilla de impulsión con lamas horizontales regulables individualmente, de 50x100 mm, fijación mediante tornillos vistos en falso techo, accesorios de montaje y fijación. Totalmente montada.				
		Total Ud: 8		16,14	21	129,12

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	%IVA	Importe
	Ud	Suministro y montaje de rejilla de retorno con lamas horizontales regulables individualmente, de 50x100 mm, fijación mediante tornillos vistos en falso techo, accesorios de montaje y fijación. Totalmente montada.				
			Total Ud: 8	16,14	21	129,12
		Mano de obra			21	593,22
		Estudio instalación			21	711,87
		TOTAL DEL PRESUPUESTO PARCIAL Nº 2-VENTILACIÓN			21	7.237,33 €

Presupuesto Parcial Nº 3 – Clima

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	%IVA	Importe
3.1	Ud	Cajas empotrables con marco frontal y puerta extraíble, lacadas en blanco.				
			Total Ud: 2	39,10	21	78,20
3.2	Ud	Mortero autonivelante de Weber, con alta transmisión de calor y conductividad térmica, asociado a revestimientos cerámicos, madera, sintéticos.				
			Total Ud: 3	28,79	21	86,37
3.3	m2	Placa aislante Nopas 13 Térmica Stark de Roth. Aislante termo-acústico con nopas, fabricado en poliestireno expandido (EPS) de baja conductividad térmica, y acabado termoconformado de 1400x800x35 mm.				
			Total m2: 165	14,20	21	2.343,00
3.4	Ud	Suministro e instalación de bomba de calor aerotérmica reversible modelo HPSU Compact 508, aire-agua, potencia calorífica nominal 5,51 kW, potencia frigorífica nominal de 8,4 kW, potencia sonora 49 dB, de 832x307x735 mm, alimentación monofásica a 230 V, con depósito de acumulación de 500 L. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento.				
			Total Ud: 1	7.001,00	21	7.001,00
3.5	Ud	Suministro e instalación de 14 colectores compactos ROTH HKV, fabricados en latón resistente a la corrosión, diseñados para su uso en sistemas de calefacción y refrescamiento por suelo radiante. Incluyen soporte insonorizado y terminales con llaves de llenado vaciado con purgador. .				
			Total Ud: 14	36,00	21	504,00
3.6	m	Tubo Roth multicapa polimérico de 5 capas (PERT / adhesivo / EVOH / adhesivo / PERT) fabricando en polietileno resistente a la temperatura mediante co-extrusión según normas DIN 4726 y DIN EN ISO 22391. Destinado a su utilización en instalaciones de agua caliente y fría en el interior de la estructura de los edificios para la conducción de agua destinada o no al consumo humano y especialmente diseñado para sistemas de calefacción y refrigeración a las presiones y temperaturas de acuerdo con la clase de aplicación .				
			Total m: 900	1,17	21	1.053,00

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	%IVA	Importe
		Mano de obra			21	1.106,56
		Estudio instalación			21	1.327,87
		TOTAL DEL PRESUPUESTO PARCIAL Nº 3-CLIMA			21	13.500,00 €

Presupuesto Parcial Nº 4 – Abastecimiento de agua

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	%IVA	Importe
4.1	Ud	Aislamiento para tubería de espuma elastotérmica 19 mm de espesor.				
			Total Ud: 90	2,75	21	247,50
4.2	Ud	Bañera.				
			Total Ud: 1	264,22	21	264,22
4.3	m2	Bidé de pie cerámica blanca.				
			Total m2: 1	213,76	21	213,76
4.4	Ud	Conducto circular para el suministro de agua sanitaria de xxx material, compuesto con codos y derivaciones, embocaduras, soportes y accesorios. Totalmente montada conexionada..				
			Total Ud: 200	2,30	21	460,00
4.5	Ud	Depósito de acumulación de agua soterrado Carat de Graf con capacidad de 13000L.				
			Total Ud: 1	4.710,00	21	4.710,00
4.6	m	Filtro arqueta Minimax de Graf con maya de filtración de 0,35 mm, auto-limpiable con un 95% y transitable por personas.				
			Total m2: 1	400,00	21	400,00
4.7	Ud	Grifo cocina.				
			Total Ud: 2	68,80	21	137,60
4.8	Ud	Grifo ducha/bañera.				
			Total Ud: 3	92,80	21	278,40
4.9	m2	Grifo lavabo.				
			Total m2: 5	35,30	21	176,50
4.10	Ud	Grupo de presión formado por dos bombas centrífugas multietapa mono-fásicas Ebara alimentadas a 230 V, con una potencia de 0,75 kW por bomba, y un caudal total de 120 l/min a 36,6 m. Dispone de válvula de corte en impulsión, válvula anti-retorno, válvula de corte en aspiración y manómetro para la lectura de la presión y regulación del presoestado.				
			Total Ud: 1	2296,00	21	2296,00

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	%IVA	Importe
4.11	Ud	Inodoro de pie cerámica blanca.				
		Total Ud: 3	257,38	21		772,14
4.12	Ud	Lavabo cerámica blanca.				
		Total Ud: 5	46,90	21		234,50
4.13	Ud	Lavadero cocina.				
		Total Ud: 2	165,43	21		330,86
4.14	Ud	Plato de ducha.				
		Total Ud: 2	144,00	21		288,00
4.15	m2	Suministro e instalación de bomba de calor aerotérmica reversible modelo HPSU Compact 508, aire-agua, potencia calorífica nominal 5,51 kW, potencia frigorífica nominal de 8,4 kW, potencia sonora 49 dB, de 832x307x735 mm, alimentación monofásica a 230 V, con depósito de acumulación de 500 L. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento. (Precio contemplado en el presupuesto parcial de clima).				
		Total m2: 1	0,00	21		0,00
4.16	Ud	Suministro e instalación de bomba hidráulica IDEAL SJI 12, para extracción de agua de pozo de 95x548x934 mm, caudal 17 l/min a 91 m. Alimentación monofásica a 230 V.				
		Total Ud: 1	343,81	21		343,81
4.17	Ud	Válvula de corte.				
		Total Ud: 15	10,23	21		153,45
		Mano de obra			21	1.130,67
		Estudio vivienda Passivhaus			21	1.356,81
		TOTAL DEL PRESUPUESTO PARCIAL Nº 4-ABASTECIMIENTO DE AGUA			21	13.794,22 €

Presupuesto Parcial Nº 5 – Saneamiento

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	%IVA	Importe
5.1	Ud	Arqueta de paso, registrable, de obra de fábrica, con tapa prefabricada de hormigón armado, sobre solera de hormigón en masa.[12]				
		Total Ud: 5		70,00	21	350,00
5.2	Ud	Depuradora one2clean - sistema un depósito con cúpula Mini.				
		Total Ud: 1		2.890,00	21	2.890,00
5.3	m	Tubo de PVC, de 32 mm de diámetro y 3 mm de espesor, con el precio incrementado el 10% en concepto de accesorios y piezas especiales.				
		Total m: 10		8,65	21	86,50
5.4	m	Tubo de PVC, de 50 mm de diámetro y 3 mm de espesor, con el precio incrementado el 10% en concepto de accesorios y piezas especiales.				
		Total m: 10		10,24	21	102,40
5.5	m	Tubo de PVC, de 100 mm de diámetro y 3 mm de espesor, con el precio incrementado el 10% en concepto de accesorios y piezas especiales.				
		Total m: 20		12,25	21	245,00
5.6	m	Tubo de PVC, de 150 mm de diámetro y 3 mm de espesor, con el precio incrementado el 10% en concepto de accesorios y piezas especiales.				
		Total m: 50		14,76	21	738,00
		Mano de obra				
					21	441,19
		Estudio vivienda Passivhaus				
					21	529,43
		TOTAL DEL PRESUPUESTO PARCIAL Nº 5-SANEAMIENTO				
					21	5.382,52 €

Presupuesto Parcial Nº 6 – Electricidad

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	%IVA	Importe
6.1	Ud	Aplique Led GRUNK ROUND CREE, 6W .				
		Total Ud: 10	29,95	21		299,50
6.2	Ud	Base de toma de corriente con contacto a tierra (2P+T), intensidad asignada 16 A, tensión asignada 250 V, con tapa, de color, empotrada.[12]				
		Total Ud: 60	7,72	21		463,20
6.3	Ud	Base de toma de corriente con contacto a tierra (2P+T) estanco, intensidad asignada 16 A, tensión asignada 250 V, con tapa, de color, empotrada.[12]				
		Total Ud: 3	9,59	21		28,77
6.4	m	Canalización de tubo corrugado forrado (forroplast) de 25 mm.				
		Total m: 100	23,60	21		2.360,00
6.5	m	Cableado exterior H07RN-F 3G 1.5.				
		Total m: 50	1,36	21		68,00
6.6	m	Cable Unifilar 1,5 mm2.				
		Total m: 100	0,26	21		26,00
6.7	m	Cable Unifilar 2,5 mm2 .				
		Total m: 100	0,46	21		46,00
6.8	m	Cable Unifilar 4 mm2 .				
		Total m: 100	0,70	21		70,00
6.9	Ud	Cable Unifilar 6 mm2 .				
		Total Ud: 100	0,94	21		94,00
6.10	Ud	Canalización de tubo corrugado forrado (forroplast) de 16 mm.				
		Total Ud: 100	21,90	21		2.190,00
6.11	Ud	Canalización de tubo corrugado forrado (forroplast) de 20 mm.				
		Total Ud: 100	23,60	21		2.360,00

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	%IVA	Importe
6.12	Ud	Cuadro general de mando y protección de obra para una potencia de 14,49 kW, compuesto por armario de distribución con dispositivo de emergencia, con grados de protección IP 55 e IK 07, 3 tomas con dispositivo de bloqueo y los interruptores automáticos magneto-térmicos y diferenciales necesarios.[12]				
		Total Ud:	1	250,00	21	250,00
6.13	Ud	Downlight Led Round COB basculante 16W.				
		Total Ud:	52	12,95	21	673,40
6.14	Ud	Interruptor unipolar (1P), gama básica, intensidad asignada 10 AX, tensión asignada 250 V, con tecla simple, de color blanco y marco embellecedor para un elemento, de color blanco, empotrado.[12]				
		Total Ud:	36	6,71	21	241,56
6.15	Ud	Red de toma de tierra para estructura de hormigón del edificio con 40 m de conductor de cobre desnudo de 35 mm ² y 1pica.[12]				
		Total Ud:	1	491,20	21	491,20
		Mano de obra				
					21	982,16
		Estudio vivienda Passivhaus				
					21	1.178,60
		TOTAL DEL PRESUPUESTO PARCIAL Nº 6-ELECTRICIDAD				
					21	11.982,39 €

Presupuesto Parcial Nº 7 – Abastecimiento energético

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	%IVA	Importe
7.1	Ud	Batería BAE SECURA 9 PVS 1350.				
		Total Ud: 10	3734,91	21		37.349,10
7.2	m	Cable Unifilar 6 mm2 SOLAR PV ZZ-F.				
		Total m: 20	1,40	21		28,00
7.3	m	Cable Unifilar 10 mm2 SOLAR PV ZZ-F.				
		Total md: 30	1,96	21		58,80
7.4	m	Cable Unifilar 16 mm2 SOLAR PV ZZ-F.				
		Total m: 10	3,12	21		31,20
7.5	m	Cable Unifilar 50 mm2 POWERFLEX RV-K.				
		Total m: 10	5,70	21		57,00
7.6	Ud	Inversor SUNNY ISLAND H8.0 con potencia nominal de 6 kW.				
		Total Ud: 3	4203,90	21		12.611,70
7.7	Ud	Modulos solares AXITEC 255.				
		Total Ud: 40	230,00	21		9.200,00
7.8	Ud	Protecciones eléctricas.				
		Total Ud: 1	450,00	21		450,00
7.9	Ud	Regulador Victron Energy SmartSolar MPPT 250/85.				
		Total Ud: 2	863,94	21		1.727,88
7.10	Ud	Soporte Paneles.				
		Total Ud: 40	137,50	21		5.500,00
		Mano de obra			21	6.701,37
		Estudio vivienda Passivhaus			21	8.041,64
		TOTAL DEL PRESUPUESTO PARCIAL Nº 7-ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO			21	81.756,69 €

Presupuesto Parcial Nº 8 – Abastecimiento energético vivienda

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	%IVA	Importe
8.1	m	Cable Unifilar 1,5 mm2 .				
		Total m:	10	0,26	21	2,60
8.2	m	Cable Unifilar 2,5 mm2 .				
		Total m:	10	0,46	21	4,60
8.3	m	Cable Unifilar 4 mm2 .				
		Total m:	10	0,70	21	7,00
8.4	m	Inversor Phoenix 24/375.				
		Total m:	1	127,53	21	127,53
8.5	Ud	Modulos solares AXITEC 255.				
		Total Ud:	16	230,00	21	3.680,00
8.6	Ud	Protecciones eléctricas.				
		Total Ud:	1	300,00	21	300,00
8.7	Ud	Regulador Victron Energy BlueSolar MPPT 150/45.				
		Total Ud:	1	457,38	21	457,38
8.8	Ud	Soporte paneles.				
		Total Ud:	1	137,50	21	137,50
		Mano de obra			21	471,66
		Estudio vivienda Passivhaus			21	565,99
		TOTAL DEL PRESUPUESTO PARCIAL Nº 8-ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO VIVIENDA			21	5.754,26 €

Presupuesto total de la vivienda

Presupuesto parcial Nº 1-Construcción.....	198.580,44
Presupuesto parcial Instalaciones.....	51.896,46
- Presupuesto parcial Nº 2-Ventilación.....	7.237,33
- Presupuesto parcial Nº 3-Clima.....	13.500,00
- Presupuesto parcial Nº 4-Suministro agua.....	13.794,22
- Presupuesto parcial Nº 5-Saneamiento.....	5.382,52
- Presupuesto parcial Nº 6- Electricidad.....	11.982,39
Presupuesto parcial Abastecimiento Energético.....	87.510,95
- Presupuesto parcial Nº7-Abastecimiento vivienda..	81.756,69
- Presupuesto parcial Nº8-Abastecimiento agua.....	5.754,26
TOTAL.....	337.987,85 €

El presupuesto final total de la vivienda asciende a TRESCIENTOS TRENTA Y SIETE MIL NOVECIENTOS OCHENTA Y SIETE EUROS CON OCHENTA Y CINCO CÉNTIMOS.

Bibliografía

- [1] Axitec. <http://www.axitecsolar.com/de/downloads.html> (último acceso: 11 de 2017).
- [2] Bombas Ideal. <http://www.bombasideal.com/bombas/> (último acceso: 12 de 2017).
- [3] Catálogo de conductos y accesorios para ventilación y climatización Novatub. «Novatub.» <http://novatub.com> (último acceso: 11 de 2017).
- [4] Catálogo de ventanas WERU. <http://www.weru.es/> (último acceso: 11 de 2017).
- [5] Daikin. <http://es.intpre.daikineurope.com/rotex/> (último acceso: 11 de 2017).
- [6] DB-HE Ahorro Energético. «CTE. Código Técnico de la Edificación.» <https://www.codigotecnico.org> (último acceso: 10 de 2017).
- [7] DB-HS. Salubridad. «CTE. Código Técnico de la Edificación.» <https://www.codigotecnico.org> (último acceso: 10 de 2017).
- [8] Ebara. <http://www.ebara.es/productos/bombas-centrifugas-verticales/> (último acceso: 12 de 2017).
- [9] efENERGIA. <http://www.efenergia.com/legislacion-eficiencia-energetica/espana/> (último acceso: 11 de 2017).
- [10] EKOenergía. <http://www.ekoenergy.org/es/extras/background-information/climate-change/>.
- [11] Estrany, Francesc. «Transporte y Distribución de la Energía.» Educativo.
- [12] Generador de Precios Cype. http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Cimentaciones/Superficiales/Losas/Losa_de_cimentacion.html (último acceso: 01 de 2018).
- [13] Google Maps. <https://www.google.es/maps/> (último acceso: 12 de 2017).
- [14] Graf. <http://www.grafiberica.com> (último acceso: 12 de 2017).
- [15] Heywood, Huw. *101 reglas básicas para una arquitectura de bajo consumo energético*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.L., 2015.
- [16] <http://uvcp-es.com> (último acceso: 12 de 2017).

- [17] IDAE-Factores de emisión de CO₂ y Coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España. 2016. http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/R econocidos/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf (último acceso: 11 de 2017).
- [18] IDAE-Proyecto SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. 2015. http://www.epsa.upv.es/redentorno/pdf/1516_document.pdf (último acceso: 12 de 2017).
- [19] Información sobre normativa española. <http://www.efenergia.com/legislacion-eficiencia-energetica/espana/> (último acceso: 12 de 2017).
- [20] Inventario de emisiones de España, emisiones de GEI serie1990-2015. «http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/documentoresumen-geiespana-serie1990-2015_tcm7-453238.pdf.» (último acceso: 10 de 2017).
- [21] Manual técnico de climatización invisible. de <https://www.uponor.es> (último acceso: 11 de 2017).
- [22] Martínez, Herminio. «Dimensionado de Instalaciones Fotovoltaicas.» Educativo.
- [23] Normativa de eficiencia energética en España. https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjfjL_9trHYAhVKOhQKHffNB4AQFghdMAM&url=https%3A%2F%2Fwww.enerclub.es%2Ffile%2FiQ7UsRREKr6aO5HqdVh60g&usg=AOvVaw1ITOLW8E2ZifJHENJ-vtIH (último acceso: 11 de 2017).
- [24] *Plataforma Española Passivhaus*. <http://www.plataforma-pep.org/> (último acceso: 9 de 2017).
- [25] Protocolo de Kioto. <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contr-el-cambio-climatico/naciones-unidas/protocolo-kioto.aspx> (último acceso: 10 de 2017).
- [26] *PVGIS*. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#> (último acceso: 10 de 2017).
- [27] REBT. http://www.f2i2.net/legislacionseguridadindustrial/Si_Ambito.aspx?id_am=76 (último acceso: 11 de 2017).

- [28] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. «Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital.»
<http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf> (último acceso: 11 de 2017).
- [29] Resumen Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética.
http://www.afec.es/es/directivas/resumen_dir_2010_31_es.pdf (último acceso: 10 de 2017).
- [30] Resumen Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.
http://www.afec.es/es/directivas/resumen_dir_2012_27_es.pdf (último acceso: 10 de 2017).
- [31] *Roth*. <http://www.roth-spain.com/es/default.htm> (último acceso: 11 de 2017).
- [32] *Sede Catastro*. <https://www1.sedecatastro.gob.es/OVCFrames.aspx?TIPO=consulta> (último acceso: 1 de 2018).
- [33] Sistema de distribución del aire. Cálculo de conductos.
<http://www.sumytech.com/documentacion/Calculo%20de%20conductos.pdf> (último acceso: 11 de 2017).
- [34] *Sitiosolar. Portal de Energías Renovables*. <http://www.sitiosolar.com> (último acceso: 12 de 2017).
- [35] *Sunny island*. <https://www.sma.de/en/products/battery-inverters/sunny-island-60h-80h.html> (último acceso: 12 de 2017).
- [36] *Tiemme*. http://www.tiemme.com/esp/tubos_prodotti-list_31849.php (último acceso: 11 de 2017).
- [37] *Victron Energy*. <https://www.victronenergy.com> (último acceso: 11 de 2017).
- [38] Wassouf, Micheel. *De la casa pasiva al estándar Passivhaus. La arquitectura pasiva en climas cálidos*. Barcelona: Gustavo Gil SL. , 2014.
- [39] *Wikimedia Commons*. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ASolarGIS-Solar-map-Spain-en.png> (último acceso: 12 de 2017).
- [40] *Zehnder*. <http://www.zehnder.es/aparatos-de-ventilación/recuperación-de-calor-centralizado/unidades-confortables-de-ventilación-de-menos-de-700-m³h/zehnder-comfoair-q350-st> (último acceso: 11 de 2017).